



EVEx2021 Energy Virtual
Experience

Ancis

CAIO CÉSAR TORRES CAVALCANTI
Coordenador

EVEx 2021

Energy Virtual
Experience

Transição Energética Eficaz e Inclusiva

06 a 10 de dezembro de 2021
100% on-line e ao vivo

evex.energy
Lisboa, Portugal

Confira os highlights do EVEx 2021
no QR Code abaixo ou [clique aqui](#).



O EVEx e o Coordenador desta publicação não são responsáveis pelas opiniões, comentários e manifestações contidas nos textos dos respectivos autores. A presente obra expõe exclusivamente a opinião de cada autor como manifestação do seu direito à liberdade de expressão e ao padrão acadêmico-científico definido pelo parâmetro de revisão do Comitê Científico e Organizador do EVEx 2021. O EVEx e o Coordenador se opõem expressamente a qualquer das páginas desta obra ou partes da mesma nas quais sejam utilizados resumos ou textos jornalísticos. Qualquer forma de reprodução, distribuição, comunicação pública ou transformação desta obra só pode ser realizada mediante autorização de seus titulares, salvo exceção prevista na lei. Portanto, esta obra não poderá ser reproduzida de forma integral sem a autorização prévia do EVEx e do Coordenador. Os autores dos capítulos ficam autorizados à reprodução e indexação na forma eletrônica sem fins comerciais, fazendo-se menção de que os respectivos textos pertencem à integralidade da obra, desde que citados o Coordenador e demais informações. Quaisquer outras formas de cessão do uso desta obra, sem a autorização prévia, por escrito, dos titulares do copyright, são consideradas proibidas. A revisão gramatical é de responsabilidade dos autores.

PROMOÇÃO E REALIZAÇÃO



EVEx2021 Energy Virtual Experience

Capa

Caio Justino

Projeto Gráfico e Diagramação

Gilberto Melo

Revisão

Célio Rodrigues

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

EVEx - Energy Virtual Experience (2021)

E56a

Anais do EVEx 2021 - Energy Virtual Experience [livro eletrônico] / Energy Virtual Experience, 06-10 dezembro 2021; coordenador Caio César Torres Cavalcanti. – Lisboa, Portugal: EVEx, 2021.

276 p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: <https://evex.energy>

Edição bilíngue

Inclui bibliografia

ISBN 978-989-33-5163-5

1. Política energética – Ibero-América. 2. Transição energética – Congressos. I. Cavalcanti, Caio César Torres. II. Título.

CDD 333.7932

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

ISBN 978-989-33-5163-5



9 789893 351635

COMITÊ CIENTÍFICO E ORGANIZADOR DO EVEx 2021

Caio César Cavalcanti (Coordenação)

Presidente e Fundador do EVEx - Energy Virtual Experience

Alexandre Ramos

Diretor de Relações Institucionais, Regulatórias e Governamentais da Cemig (na ocasião)

Ana Carla Petti

Presidente da MegaWhat Consultoria (na ocasião)

Alfonso Blanco Bonilla

Secretário Executivo da Organização Latino-Americana de Energia - OLADE (na ocasião)

Carlos Henggeler Antunes

Professor Catedrático da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Fábio Veiga

Presidente do Instituto Iberoamericano de Estudos Jurídicos - IBEROJUR

Fernanda Delgado

Doutora em Planejamento Energético pela COPPE/UFRJ

Filipe Matias Santos

Diretor de Serviços Jurídicos da Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos - ERSE

Francisco Paes Marques

Professor Auxiliar da Faculdade de Direito da Universidade de Lisboa

Gustavo De Marchi

Consultor Jurídico da FGV Energia

Hirdan Medeiros

Professora Colaboradora do PPGE/USP

Larissa Araium

Presidente da MegaWhat

Maria João Rolim

PhD em Direito da Energia e Sustentabilidade pela Universidade de Dundee

Marta Nunes Vicente

Professora Auxiliar Convidada da Escola do Porto da Faculdade de Direito da Universidade Católica Portuguesa

Natália Moreno

Docente da Faculdade de Direito da Universidade de Coimbra

Nelson Lage

Presidente da ADENE - Agência para a Energia

Renata Abreu

Fundadora da Energy Connection

Rui Castro

Professor Associado do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

Rui Pestana

Assessor da Divisão do Gestor do Sistema da REN - Redes Energéticas Nacionais

Solange David

Doutora em Ciências - Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da USP

Teresa Ponce de Leão

Presidente do Laboratório Nacional de Energia e Geologia - LNEG

EVEx: O SEGUNDO ATO EM PROL DE UMA TRANSIÇÃO ENERGÉTICA EFICAZ E INCLUSIVA

O **EVEx - Energy Virtual Experience** é uma iniciativa pioneira e internacional que reúne especialistas da área de energia, com o objetivo de debater tendências, trocar experiências e encontrar plataformas de cooperação para acelerar a transição energética nos países da Península Ibérica e da América Latina – em especial, Brasil, Portugal e Espanha.

Nos dias 06 a 10 de dezembro de 2021, a segunda edição do EVEx foi realizada no mesmo formato da primeira, ou seja, de forma totalmente remota e em tempo real, devido às restrições impostas pela pandemia de COVID-19. Subordinada ao tema “Transição Energética Eficaz e Inclusiva”, reuniu alguns dos principais *players* e *stakeholders* dos mercados ibérico e brasileiro de energia, além de importantes autoridades públicas. Assim, foram mais de 40 horas de transmissão *livestream*, com a participação aproximada de 100 *speakers*, gerando conteúdos de alto nível, *networking* estratégico e oportunidades de negócios.

A presente publicação reúne trabalhos interdisciplinares que foram apresentados na experiência acadêmica do evento, denominada **Energy Virtual Academy**. São trinta capítulos abordando temáticas importantíssimas para o atual contexto de transição energética e combate às alterações climáticas, como questões sobre a segurança e eficiência energética, o mercado de carbono, a indústria de petróleo e gás natural, o aproveitamento energético da biomassa, a tecnologia *blockchain*, a produção de hidrogênio e biodiesel, entre outras.

Enquanto presidente e fundador do EVEx, gostaria de agradecer imensamente a todos os autores destes Anais, principalmente, por terem realizado estudos e reflexões com excelentes qualidades acadêmica e científica, que nos auxiliarão a entender melhor diversos cenários desafiadores pelos quais o setor de energia passa hoje em dia.

Também registro agradecimentos especiais aos 10 patrocinadores do **EVEx 2021**, uma vez que apoiaram a continuação do nosso trabalho de promover partilha de conhecimentos, conexões e sinergias profissionais e científicas na área energética. São eles:

- **Patrocínio Ouro:** Cemig, Governo do Estado de Minas Gerais e ADENE – Agência para a Energia;
- **Patrocínio Prata:** REN, Copel e Governo do Estado do Paraná;
- **Patrocínio Bronze:** Comerc Energia, Helexia Brasil, 2W Energia e Rolim Advogados.

Agradeço, igualmente, a todos os participantes, oradores, moderadores e membros do Comitê Científico e Organizador desse segundo ato do evento, o qual conseguiu firmar o EVEx na agenda setorial do bloco ibero-latino-americano como um dos mais relevantes encontros em prol da transição energética para uma economia de baixo carbono.

Despeço-me desejando a todos uma excelente leitura!



Caio César Cavalcanti

Presidente e Fundador do EVEx

Mestre e Doutorando em Direito Público pela Universidade de Coimbra

PREFÁCIO

Depois de dois anos pandêmicos e recessivos, com forte oscilação dos preços do petróleo e muitas emoções no setor energético, o mundo segue um novo rumo, um novo caminho, com novos velhos desafios. Além dos impactos de ordem conjuntural observados desde o início da pandemia, o mercado energético também passa por mudanças estruturais motivadas pela questão ambiental. A necessidade de redução das emissões é uma das principais pautas da agenda global e a indústria de O&G se encontra no cerne de discussões nas quais, cada vez mais, governos, investidores e sociedade vêm se comprometendo com metas climáticas mais ambiciosas condicionando os investimentos realizados nesta indústria.

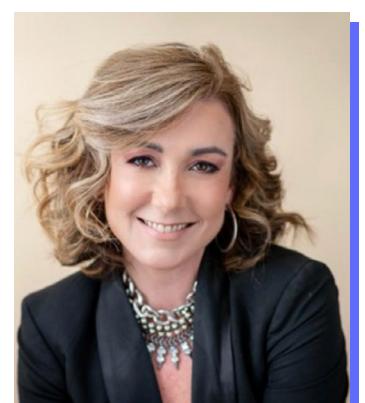
Nesse contexto ainda conturbado seguimos com o **EVEx 2021 – Energy Virtual Experience**, evento on-line e ao vivo, envolvendo profissionais da América Latina e Península Ibérica. Foram conversas, debates, minicursos e masterclasses, com alguns dos mais importantes líderes e players da indústria energética de Portugal, da Espanha, do Brasil e de outros países latino-americanos. O objetivo fundamental foi discutir os efeitos das ondas da pandemia de COVID-19 nos processos de transição energética e o papel do setor de energia na recuperação econômica.

Nas próximas páginas, o leitor vai encontrar nos anais desse evento os trabalhos que foram apresentados em uma das quatro experiências do **EVEx 2021**, a Energy Virtual Academy. São escritos riquíssimos que versam sobre os desafios da indústria de óleo e gás, de energia elétrica, de gás natural, da transição energética, de energias renováveis, de captura e mercado de carbono, saneamento básico e ainda os desafios geopolíticos, legislativos e econômicos do segmento.

É importante ressaltar que a próxima década trará respostas essenciais em relação à trajetória do setor energético global, tanto com relação ao pico da demanda por petróleo quanto à velocidade do seu declínio após o atingimento do ponto de inflexão, quanto à inserção maior das energias renováveis, da eletrificação de tudo, dos armazenamentos e dos direcionamentos corretos em direção à descarbonização.

Por fim, gostaria de celebrar a participação do feminino nesse EVEx 2021. A necessidade contemporânea de um olhar mais diverso, plural e gentil, prima por novas estruturas de raciocínio longe do lugar comum masculino. Bom ver mulheres cada vez mais convidadas, com cada vez mais voz, com cada vez mais poder.

Boa Leitura.



Fernanda Delgado

Doutora em Planejamento Energético (COPPE/UFRJ)

Mestre em Tecnologia da Informação (CEFET/RJ)

MBA em Finanças Internacionais (FGV/EBAPE)

APRESENTAÇÃO

Como pesquisadora da área de Direito de Energia, sinto-me honrada por ter a oportunidade de participar do EVEx desde o seu surgimento, pois vejo o quanto é importante dialogarmos e compartilharmos experiências acadêmicas e técnicas sobre energias.

Com participantes e investigadores principalmente do Brasil, de Portugal e da Espanha, o EVEx sempre busca oportunizar os melhores debates científicos, políticos e corporativos na área da transição energética.

Em 2021, o desafio foi novamente realizar o evento de forma totalmente online e ao vivo, em decorrência da pandemia de COVID-19. Ao recordar esse momento, pude ter certeza que a qualidade e perfeição fazem parte da essência do EVEx. Participando como mediadora de algumas sessões com excelentes profissionais, possuidores de elevado know-how na área de energia, pude dialogar e aprender um pouco mais sobre os assuntos debatidos. Inclui-se aqui as sessões temáticas onde os pesquisadores/investigadores apresentavam seus trabalhos seguidos de discussões técnicas imperdíveis.

Aliás, a troca contínua de conhecimentos entre jovens pesquisadores e pesquisadores renomados é marca do evento desde a sua primeira edição e confirma a qualidade de todos os participantes.

Realmente, a cada EVEx é perfeitamente possível constatar uma busca por debates que tragam soluções para a área energética em prol do desenvolvimento e ecoeficiência.

Parabéns a todos os organizadores, participantes e investigadores e aguardemos os próximos!



Priscila Vasconcelos

Pós-Doutora em Direito da Cidades pela UERJ
Professora do Instituto de Ciências Jurídicas da UFRR



SUMÁRIO

CAPÍTULO I	13
Sistemas de tratamento de esgoto dos municípios da Macrometrópole Paulista: caracterização e proposição de medidas para a redução do consumo energético	
<i>Alana Távora Rodrigues</i>	
CAPÍTULO II	20
Avaliação do potencial do efluente da Usina Experimental de Biogás da Cidade Universitária da USP	
<i>Alice Akemi Tagima</i>	
CAPÍTULO III	29
A função do Advocacy na transição energética amazônica: um estudo de caso sobre o Fórum de Energias Renováveis de Roraima	
<i>André Andriw Santos Da Silva</i>	
CAPÍTULO IV	43
Mercado de carbono como instrumento de redução das emissões do setor petrolífero brasileiro: Evidências a partir do Brasil e do exterior	
<i>André Andriw Santos Da Silva</i>	
CAPÍTULO V	52
Desenvolvimento de BECCS no Brasil: proposta de política econômica a partir de experiências internacionais	
<i>Brenda Honório Mazzeu Silveira</i>	
CAPÍTULO VI	59
Eficiência energética em sistemas motrizes e as novas tecnologias no contexto da transição energética	
<i>Danilo Ferreira De Souza</i>	
CAPÍTULO VII	71
Updates on the attractiveness of intermittent renewable energy sources in Brazil	
<i>Erick Meira</i>	
CAPÍTULO VIII	81
O Potencial de Contribuição do Gás Natural para o Suporte à Segurança Energética na Amazônia Brasileira	
<i>Gabriel Lobato Cardoso</i>	
CAPÍTULO IX	93
Coccção em tempos de pandemia: a retomada no uso da lenha em ambientes domésticos urbanos no Brasil	
<i>Gabriel Lobato Cardoso</i>	
CAPÍTULO X	102
Estudo de metodologias para quantificação da segurança energética e sua aplicação no contexto brasileiro	
<i>Gabriela Soares De Faria</i>	
CAPÍTULO XI	108
A indústria de gás natural da região norte do Brasil a partir da análise da privatização da Eletrobras	
<i>Gabriela Pantoja Passos</i>	

CAPÍTULO XII _____ 114

O aproveitamento energético da biomassa de casca de cacau: um estudo de caso

Geraldo Lavigne De Lemos

CAPÍTULO XIII _____ 121

Um estudo do arcabouço regulatório e políticas regulatórias nacionais em relação aos combustíveis veiculares e sua contribuição/aderência às Nationally Determined Contributions e perspectivas futuras quanto às emissões de Gases do Efeito Estufa

Jade Liu De Almeida

CAPÍTULO XIV _____ 126

Utilização da tecnologia blockchain em sistemas de recarga de carros elétricos na Macrometrópole Paulista

João Tadeu Alves Dos Santos

CAPÍTULO XV _____ 139

Mercados de Energia Competitivos em um Ambiente de Transição Energética

Jovanio Silva Dos Santos Júnior

CAPÍTULO XVI _____ 146

Avaliação do potencial da macaúba como matéria-prima para a produção de biodiesel

Joyce Emanuelle P. Barbosa

CAPÍTULO XVII _____ 154

(In)Coerência na política fiscal perante o desafio das alterações climáticas: uma análise dos subsídios ao carvão

Juliana Pacheco Barbosa

CAPÍTULO XVIII _____ 161

Análise Comparativa Qualitativa (QCA) e sua aplicação no contexto da geopolítica da energia

Laila França Da Costa

CAPÍTULO XIX _____ 169

Participação dos cientistas na COP 26

Matheus Antonio Souza Ferreira

CAPÍTULO XX _____ 175

Utilização de biomassa para a produção de Bioenergia e Captura e Armazenamento de Carbono no Brasil: uma análise da viabilidade e eficiência

Pamela Ramos Rocha Dos Santos

CAPÍTULO XXI _____ 185

Uso de técnicas isotópicas para avaliação de contaminação por vazamento de metano por técnica de fraturamento hidráulico

Pietro Salomão De Sá

CAPÍTULO XXII _____ 197

A utilização da tecnologia de blockchain e contratos inteligentes no ambiente de contratação livre de energia no Brasil (ACL) com o objetivo de promover maior integração do setor de gás natural e de comercialização de energia elétrica, tendo como modelo e case os avanços tecnológicos observados na rede Ethereum.

Rodrigo Pereira Botão

CAPÍTULO XXIII	207
Lições da transição energética alemã para o Brasil	
<i>Rodrigo de Campos Rezende</i>	
CAPÍTULO XXIV	221
Interação de contaminantes da produção de shale gas com materiais geológicos	
<i>Rodrigo Sobral Nogueira</i>	
CAPÍTULO XXV	228
Veículos movidos a hidrogênio: O que pensam os proprietários de veículos automotores a respeito dessa alternativa energética como substituto para os combustíveis de origem fóssil?	
<i>Rogerio Vaz De Lima</i>	
CAPÍTULO XXVI	236
Aplicação do Dynamic Line Rating para minimizar o Market Split no MIBEL	
<i>Rui Pestana</i>	
CAPÍTULO XXVII	243
Distribuição Espacial de Emissões Veiculares na Região Metropolitana de São Paulo e na Região Metropolitana de Campinas	
<i>Sarah Vilela Gimenes Da Silva</i>	
CAPÍTULO XVIII	250
Codeveloping shale gas and CO ₂ geological storage in the Paraná Basin: opportunities, challenges, policy and regulatory implications	
<i>Stephanie San Martín Cañas</i>	
CAPÍTULO XXIX	258
Aspectos logísticos de projetos para a produção de hidrogênio, associados à captura e armazenamento de carbono (H ₂ azul), e seu potencial para o offshore no Brasil	
<i>Thalles Moreira De Oliveira</i>	
CAPÍTULO XXX	266
Análise do Quadro Regulatório e de Locação de Poço Exploratório de Hidrocarboneto Não-Convencional na Bacia do Recôncavo	
<i>Tirzah Loriato Moraes Silva</i>	

Sistemas de tratamento de esgoto dos municípios da Macrometrópole Paulista: caracterização e proposição de medidas para a redução do consumo energético

Sewage treatment systems in the municipalities of the Macrometropolis of São Paulo: characterization and proposition of measures to reduce energy consumption

Alana Távora Rodrigues¹

Célio Bermann²

Edmilson Moutinho dos Santos³

Sumário: 1. Introdução 2. Revisão Bibliográfica 3. Conclusão 4. Agradecimentos 5. Bibliografia.

Resumo: O objetivo do projeto proposto é a produção de biocombustíveis utilizando o material retirado do esgoto tratado nas ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) da macrometrópole paulista como matéria prima. O aproveitamento energético deste pode ser feito através do tratamento biológico, utilizando microorganismos ou algas para a degradação da matéria orgânica presente.

A principal fonte para obtenção de dados e informações será o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2021, disponibilizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) da Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional. As informações estão sendo coletadas e posteriormente tabuladas para a quantificação do potencial de produção energética – em cada uma das tecnologias de aproveitamento energético analisadas - e para a proposição de medidas que visem a redução do consumo energético nos sistemas de tratamento de esgoto.

Para o aproveitamento energético do lodo dos esgotos pode-se fazer uso de microorganismos e algas no pós-tratamento deste, sendo que o tratamento ocorre via reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor, ou em português, Reator Anaeróbio de Manta de Lodo e Fluxo Ascendente) que também produz biogás como subproduto.

Este biogás é formado a partir da atividade de microrganismos anaeróbios na presença de matéria orgânica e pode ser utilizado como combustível para a secagem do lodo úmido na própria ETE. Além disso, o gás metano, principal constituinte do biogás, é também o principal gás potencializador do efeito estufa, sendo agudamente danoso ao meio ambiente se lançado na atmosfera, como ocorre na queima por flare. No entanto, seu elevado poder calorífico faz com que seja muito proveitosa a sua coleta para a conversão em energia, podendo ser utilizado também na forma de biogás para diversos fins, dentro da ETE ou fora dela.

Ainda sobre o aproveitamento energético do esgoto pode-se fazer a utilização de algas para o seu pós-tratamento, como é o caso do tratamento em lagoas de alta taxa (alta DBO). A depuração da matéria orgânica nas lagoas é feita por microalgas e a produção de biomassa destas pode ser útil na produção de biocombustíveis. Algumas formas de aproveitamento são alimentação de animais; recuperação de compostos bioquímicos; uso como fertilizantes de solo; e produção de biocombustíveis, como biometano e bioetanol.

Palavras-Chave: Estação de Tratamento de Esgoto; ETE; aproveitamento energético; lodo; biogás.

¹ Graduanda em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo, alana.tavora@usp.br

² Professor Doutor do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo e orientador da pesquisa cbermann@iee.usp.br

³ Professor Doutor do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo e coordenador da pesquisa ed-santos@iee.usp.br

Abstract: The main objective of this project is the production of biofuels using the sludge that arrives at the treatment stations, named ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) of the Macro-metropolis of São Paulo, in Brazil. The energetic optimization of these ETEs can be done through the biological treatment, using microorganisms or specific seaweeds for degradation of the organic molecules.

The source used for information about the ETEs and the sewerage system is a document called Water and Sewerage Service Diagnosis - 2021 (Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2021) made available by the National System of Information on Sanitation (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)) made by the National Sanitation Secretariat of the Ministry of Regional Development. The information is being organized for the quantification calculus of energetic production and utilization – for all the energy reclaim technologies explored in this project - and also for the proposition of new measures that can help the mitigation of energy waste.

For the energetic use of sewage sludge, microorganisms and algae can be used in the post-treatment of the sludge, being that the treatment occurs via UASB reactor (Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor) which also produces biogas as a by-product.

This biogas production is made by reactions that occur in anaerobic microorganisms in the presence of organic matter; that gas can be used as a fuel for the drying process of the sludge that happens on the ETEs. Furthermore, the methane gas, main constituent of biogas, is also the main enhancer gas of the greenhouse effect, being acutely harmful to the environment if released into the atmosphere, as occurs in flare burning. However, its high calorific value makes it very useful to collect it for conversion into energy, and it can also be used in the form of biogas for various purposes, inside the ETE or outside it.

Still on the energy use of sewage, algae can be used for post-treatment, like in High Rate Algal Ponds (HRAP). The purification of organic matter in the ponds is done by microalgae, and the production of biomass from these organisms can be useful for the production of biofuels too. Some different forms of use are animal feeding; recovery of biochemical compounds; use as soil fertilizers; and production of biofuels, such as biomethane and bioethanol.

Keywords: Sewage treatment station; ETE; energetic use; sludge; biogas.

1. Introdução:

A caracterização dos sistemas de esgotamento sanitário se faz extremamente importante, com os dados desta análise que se torna possível a proposição de ações palpáveis economicamente para a melhoria do sistema, refletindo diretamente na qualidade do serviço oferecido, que por sua vez reflete na qualidade de vida da população atendida por ele.

Com o aproveitamento energético das ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto), os ganhos energéticos se convertem em economia nos gastos econômicos, o que favorece o barateamento dos serviços prestados.

O esgoto que chega às ETEs, após passar pelo tratamento biológico é convertido no lodo, fonte abundante de matéria orgânica. Esse material acaba sendo de difícil descarte por conta de sua alta variabilidade composicional, que abrange materiais como plásticos, sólidos grosseiros, nutrientes (principalmente N e P), organismos patogênicos e não-patogênicos e poluentes específicos, assim, seu descarte deve ser feito com cautela (VON SPERLING, 1996).

Algumas características bioquímicas do lodo podem otimizar a produção de biogás, que já ocorre como subproduto do tratamento por reatores UASB (reator anaeróbio de fluxo ascendente). Essa composição chave é investigada, assim como a melhor maneira de aproveitamento do biogás gerado,

que pode ser utilizado através da combustão para fornecimento de calor ou geração de energia elétrica por motor de combustão interna (MCI) (ROSA, 2016).

Esse aproveitamento energético seria benéfico para a sociedade já que influencia diretamente no barateamento do serviço prestado pela ETE, principalmente na redução de custos associada ao descarte do lodo.

Possibilidades de intervenção na problemática supracitada são exploradas neste trabalho, suas propostas variam, sendo o objetivo deste estudo entender para quais cenários e contextos estas propostas são melhor indicadas e qual ou quais delas podem ser aplicadas às ETEs da Macrometrópole Paulista (MMP).

2. Revisão Bibliográfica:

O projeto tem seu início através da revisão bibliográfica feita sobre diversos aspectos do tema, levando em consideração que o aproveitamento energético nas ETEs será feito através do uso do biogás, subproduto do tratamento de esgoto por reatores UASB.

Para um panorama atual do tema foi consultado o Plano Municipal de Saneamento Básico de São Paulo de 2019 e o SNIS 2018 e 2020 (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) referente aos anos de 2019 e 2021, dos quais pode-se depreender que o saneamento brasileiro precisa continuar crescendo para o atendimento de toda sua população, que por lei, têm direito ao saneamento básico, sendo essa uma questão também de saúde pública.

O município de São Paulo é o nexo da Macrometrópole Paulista, sendo ele atendido pelo Sistema Principal Integrado, responsável pela maioria do esgoto gerado no município, e sendo constituído por 4 sistemas de coleta: Barueri, ABC, Parque Novo Mundo e São Miguel. Além destes sistemas há novas estações de tratamento sendo implantadas, com menores áreas de contribuição, como é o caso das unidades de Caieiras, Bandeirantes e Maria Trindade (PMSB, 2019).

No entanto, um desafio constante abrange o manejo dos efluentes gerados nas áreas de favelas e regiões menos acessíveis, em que o sistema centralizado convencional tem se mostrado inviável. A geração estimada nestas regiões é parte substancial do que hoje ainda não é coletado nem tratado em São Paulo, sendo uma questão urgente lidar com essa situação.



Figura 1 – Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de São Paulo 2019.

Além da questão de coleta e cobertura, há outros aspectos com relevância que devem ser considerados na gestão do esgotamento sanitário em São Paulo, como a eficiência do tratamento do efluente e a redução de impactos ambientais causados pela operação dos sistemas. O monitoramento dessas questões e o trabalho para seu melhoramento devem ser contínuos, a fim de alcançar um patamar satisfatório de preservação dos recursos hídricos e sustentabilidade. (PMSB, 2019)

As quatro ETEs do Sistema Principal de Esgotamento Sanitário possuem capacidade de tratamento de 23m³/s e tratam cerca de 14m³/s, visto que exceto a ETE ABC, todas estão próximas da saturação. As exigências de lançamento aplicáveis em São Paulo são definidas pelas seguintes determinações legais: no âmbito Nacional pela Resolução CONAMA 357/2005 e 430/2011; e Estadual pelo Decreto 8468/76 (Artigos 18 e 19A). Essas resoluções definem concentrações máximas de parâmetros específicos para as diferentes classes de corpos hídricos ou redes coletoras de esgoto. (PMSB, 2019)

Os sistemas de tratamento focam em etapas de tratamento primário e secundário, visando a redução da carga orgânica carbonácea. No tratamento preliminar é utilizado gradeamento, caixa de areia, decantadores primários, tanque de aeração, e decantadores secundários, respectivamente; dado que o lodo proveniente dos decantadores é encaminhado para uma linha destinada à estabilização do material e redução de seu volume, objetivos atingidos através da concentração, digestão, deságue e secagem, visto que no tratamento secundário estão presentes as técnicas desenvolvidas em reatores e lagoas (VON SPERLING, 1996).

Nessa etapa entra em discussão as diferentes técnicas que podem ser empregadas no pré-tratamento e tratamento do lodo para que seu aproveitamento seja máximo, ou seja, maximizando a sua produção de biogás e minimizando o seu volume final, que segue para descarte ou, dependendo de suas propriedades bioquímicas, pode ser empregado em outros usos, como na agricultura ou construção civil (PMSB, 2019).

GERAÇÃO DE LODOS DE ETEs

Nome da instalação	Geração de lodo		Ano	Lodo encaminhado aos Aterros Sanitários (ton/ano)	Chorume Tratado nas ETEs (m ³ /ano)
	Custo com disposição e transporte de lodo Média Anual 2017 (R\$/mês)	Volume de lodo na base bruta Média Anual 2017 (ton/mês)			
ETE Barueri	R\$131.095,44	4.697	2004	131.794	1.391.047
ETE ABC	R\$102.217,21	4.601	2005	142.956	1.431.688
ETE Parque Novo Mundo	R\$124.571,50	5.226	2006	156.250	1.586.940
ETE São Miguel	R\$55.906,87	1.410	2007	132.404	1.706.464
			2008	126.072	931.311

(*)Sabesp, ref. Dez. 2017

Figura 2 – Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de São Paulo 2019.

O biogás, produzido nos reatores UASB como subproduto do tratamento do lodo, têm grande potencial de aproveitamento energético já que pode ser empregado na secagem do lodo ou então na produção de energia elétrica por motor de combustão interna (MCI) para uso na própria ETE (ROSA, 2016). Esse aproveitamento, atualmente, não é prioritário em São Paulo. Apenas a ETE Barueri possui sistemas de aproveitamento do biogás, posto que as outras ETEs fazem a liberação deste gás para a atmosfera, após tratamento prévio (PMSB, 2019).

Esse tema é de grande relevância já que a operação das ETEs envolve custos elevados concernentes ao consumo de energia elétrica para bombeamento e aeração dos processos aeróbios, aplicação de insumos químicos e gestão do lodo (PMSB, 2019).

Nesse aspecto, as lagoas de polimento são alternativas para esse tratamento de efluentes dos reatores anaeróbios, elas promovem reduções significativas nas concentrações de fósforo, nitrogênio e dos principais indicadores de organismos patogênicos. No entanto, há presença de algas reportadas nos efluentes da lagoa de polimento, o que limita o descarte dessas águas em áreas naturais e a sua reutilização em outras aplicações, isso porque a retirada das algas da fase líquida pode ser uma tarefa complicada, envolvendo o uso de diversos processos (GÓMEZ, 2016).

Um método mais simples para evitar a presença algácea no efluente da lagoa seria a introdução de macrófitas flutuantes para impedir a passagem da radiação solar para a fase líquida, impedindo a reprodução das algas. E além dessa vantagem as macrófitas têm a capacidade de remover nutrientes da fase líquida, apresentam crescimento rápido e podem ser facilmente separadas da fase líquida utilizando processos de separação simples (GÓMEZ, 2016).

Em um sistema de reator UASB seguido por LAT, na etapa secundária do processo de tratamento, é observada remoção de nutrientes muito satisfatória em grande parte do material tratado. Tem-se como exemplo o caso da na ETE São João Navegantes (Porto Alegre, RS), estudada entre agosto de 2014 e abril de 2015. A lagoa de produção de macrófitas (LAT_M) obteve remoções médias de NTK (nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal) e Pt (fósforo total) de $46,9 \pm 6,6$ e $45,5 \pm 6,2$ %, respectivamente. Além disso, a lagoa de produção de algas teve remoção de NTK e Pt de $45,8 \pm 14$ e $37,8 \pm 5,1$ %, respectivamente (GÓMEZ, 2016).

Um outro ponto interessante do uso de algas e macrófitas é o aproveitamento da produção de biomassa utilizando processos simples de tratamento de águas residuárias. As macrófitas produzidas nas lagoas de alta taxa têm o potencial de produzir: $15.915,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (15,9 t) de proteína para produção animal, e $11.724,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (11,7 t) de carboidratos altamente biodegradáveis que podem ser transformados em combustíveis renováveis, como o bioetanol. Os nutrientes recuperados pelas macrófitas também podem ser aproveitados como adubos orgânicos (GÓMEZ, 2016).

Hoje em dia, o lodo que passa pelos tratamentos supracitados é, em sua grande maioria, direcionado a aterros sanitários, o que mobiliza grande parte dos recursos financeiros destinados à ETE, já que o preço para descarte são proporcionais à massa e ao volume (ROSA, 2016), sendo imprescindível ter noção da composição bioquímica do material, já que o lodo tem alto potencial contaminante por conta de sua composição bastante heterogênea, que pode contemplar contaminantes do solo e lençóis freáticos, além de organismos patogênicos (VON SPERLING, 1996).

A problemática da gestão do lodo é um passo que merece atenção por estar intrinsecamente ligada à questão da sustentabilidade do processo e ser também uma parte que mobiliza altos recursos (ROSA, 2016). O barateamento na operação das ETEs é um serviço à sociedade, por permitir a mobilização de recursos para outros setores, como para a construção de novas ETEs, canais de esgotamento sanitário e serviços de manutenção das redes já existentes. Estes serviços seguem com alta demanda, já que no Brasil a quantidade de pessoas atendidas pelo serviço de esgotamento é de

55% da população total para o ano de 2020 de acordo com o SNIS, sendo que para o estado de São Paulo esse número é de 90,6% da população total para o mesmo ano. É importante lembrar que o Estado garante acesso ao esgotamento sanitário, já que este é parte das medidas que compõem o saneamento básico, direito dos cidadãos e cidadãs do Brasil, garantido pela Constituição Federal e instituído pela Lei no. 11.445/2007.

3. Conclusão:

O presente trabalho precisa investigar mais detalhadamente a composição do lodo que chega às ETEs responsáveis por atender a macrometrópole paulista, para assim, poder propor qualquer cenário de aproveitamento energético, visto que o teor dos materiais componentes do lodo ditarão:

- Sua capacidade de produção de biogás;
- O que pode ser feito como pré e pós-tratamentos para melhor atingir os objetivos propostos;
- O que pode ser feito com o lodo final, que resta como subproduto do tratamento.

Também serão necessários dados do consumo energético das ETEs, concernentes aos equipamentos necessários para seu funcionamento, para que se possa projetar quanto o melhoramento energético proposto suprirá desta demanda. Economicamente, pretende-se que o uso do biogás gerado ajude a suprir custos energéticos das ETEs e que sua destinação final seja revisada, também com este propósito.

4. Agradecimentos:

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

5. Bibliografia:

DISTRITO FEDERAL, Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS): Serviços de Água e Esgoto: Diagnóstico Temático - Visão Geral.** Secretaria Nacional de Saneamento - SNS. SGAN Q.906, Módulo 'F' Bloco 'A' Ed. Celso Furtado, 3º andar. Brasília - DF, 2021. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 05/03/2022.

GÓMEZ, Eddie F. et al. **Estudo Comparativo Entre Lagoas De Alta Taxa De Produção De Algas E De Macrófitas No Tratamento Secundário De Esgoto Sanitário.** 5º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves - RS, 2016. Disponível em: <https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=361&ano=_quinto>. Acesso em: 02/12/2021.

LAZZARI, Juliana. **Análise Do Potencial Energético De Lodos Obtidos no Tratamento De Esgoto.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, 2018. Disponível em: https://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/analise_do_potencial_energetico_de_lodos_obtidos_no_tratamento_de_esgoto_0.pdf. Acesso em: 23/12/2021.

ROSA, A. P. et al. **Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso Estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira).**

Engenharia sanitária e ambiental, v. 21, n. 2, p. 315–328, 2016. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/83533KcytbXmpwrnTsHzCYJ/?lang=pt>>. Acesso em: 03/02/2022.

SÃO PAULO, Comitê Gestor Dos Serviços de Água e Esgoto da Capital Paulista. **Plano Municipal de Saneamento Básico de São Paulo (PMSB)**. Prefeitura de São Paulo, 2019.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias:** Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. Editora UFMG, 1996.

Avaliação do potencial do efluente da Usina Experimental de Biogás da Cidade Universitária da USP

Evaluation of the effluent potential from Experimental Biogas Plant of Cidade Universitária of USP

Alice Akemi Tagima¹

Bruno Alves Pereira²

Alexandre Alves Mendonça³

Paulo Roberto Américo Da Silva⁴

Túlio Teixeira Sawatani⁵

Júlia Carolina Beurvanso Borba Ferrarese⁶

Samantha Christine Santos⁷

Camila Agner D'aquino⁸

Celia Regina Montes⁹

Illo Luis Sauer¹⁰

Sumário: 1. Introdução. 2. Materiais e Métodos. 3. Resultados e Discussões. 4. Conclusão.
5. Agradecimentos. 6. Bibliografia.

Resumo: A alta produção global dos últimos anos levou à exploração de novos caminhos para geração de energia. Uma maneira que tem sido amplamente estudada e aplicada é o aproveitamento energético a partir de resíduos sólidos urbanos. Esses passam por uma digestão anaeróbica através de microrganismos, resultando em biogás e digestado. O biogás pode ser aplicado para a geração de energia e o digestado para uso no solo como biofertilizante, contendo nutrientes que possibilitam melhorar uma plantação agrícola. O digestado tem sido estudado e aplicado como biofertilizante e tem atingido as expectativas, porém necessita passar por um processo de separação para ser devi-damente utilizado. Esse papel do digestado se torna relevante diante de uma crise de fertilizantes. No Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) foi construída a Usina Experimental de Biogás. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a composição química do digestado da Usina Experimental de Biogás da Cidade Universitária da USP e verificar seu potencial uso como biofertilizante. Para essa pesquisa foram necessárias análises físico-químicas: concentração de macro e micronutrientes, concentração de carbono orgânico total, concentração de metais pesados e identificação de patógenos. Essas análises seguem como parâmetro documentos

1 Mestranda em Energia, Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP); alice.tagima@usp.br.

2 Graduando em Engenharia Ambiental, Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP); bruno.alvesp@gmail.com.

3 Graduado em Gestão Ambiental, Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP); alexandrealves@usp.br.

4 Graduando de Engenharia Elétrica, Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP); prsilva@iee.usp.br.

5 Mestrando em Energia, Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP); tu.sawatani@gmail.com.

6 Mestre em Energia, Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP); jborba@iee.usp.br.

7 Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP); scriss_santos@yahoo.com.br.

8 Doutora em Energia, Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP); camidaquino@gmail.com.

9 Doutora em Geofísica, Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP); crmluar@usp.br.

10 Doutor em Engenharia Nuclear, Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP); illsauer@iee.usp.br.

oficiais, como, a Instrução Normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e Ministério do Meio Ambiente – Conselho de Meio Ambiente. Os ensaios preliminares no início da operação da Usina apontaram resultados positivos com as concentrações dos elementos dentro dos limites estabelecidos pelas normas federais e com ausência de coliformes fecais.

Palavras-chave: Digestado; Efluente; Biofertilizante.

Abstract: The high global production of recent years has led to the exploration of new way for energy generation. One of these ways that has been widely studied and applied is the use of energy from urban solid waste. These wastes undergo anaerobic digestion by microorganisms, resulting in biogas and digestate. Biogas can be applied for energy generation and digestate for use in the soil as a biofertilizer, containing nutrients that make it possible to improve agricultural crops. The digestate has been studied and applied as a biofertilizer and has reached expectations, but it needs to go through a separation process to be properly used. This role of digestate becomes relevant in the face of a fertilizer crisis. The Institute of Energy and Environment (IEE) of the University of São Paulo (USP) applied this theory, building the Experimental Biogas Plant. Thus, the present work aims to evaluate the chemical composition of the digestate from the Experimental Biogas Plant of Cidade Universitária of USP and to verify its potential use as a biofertilizer. For this research, physical chemical analyzes are necessary: concentration of macro and micronutrients, concentration of total organic carbon, concentration of heavy metals and identification of pathogens. These analyzes follow official documents as a parameter, such as the Normative Instruction of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply and Ministry of the Environment – National Environment Council. Preliminary tests at the beginning of the plant's operation showed positive results with the concentrations of the elements within the limits established by federal regulations and with the absence of fecal coliforms.

Keywords: Digestate; Effluent; Biofertilizer.

1. Introdução

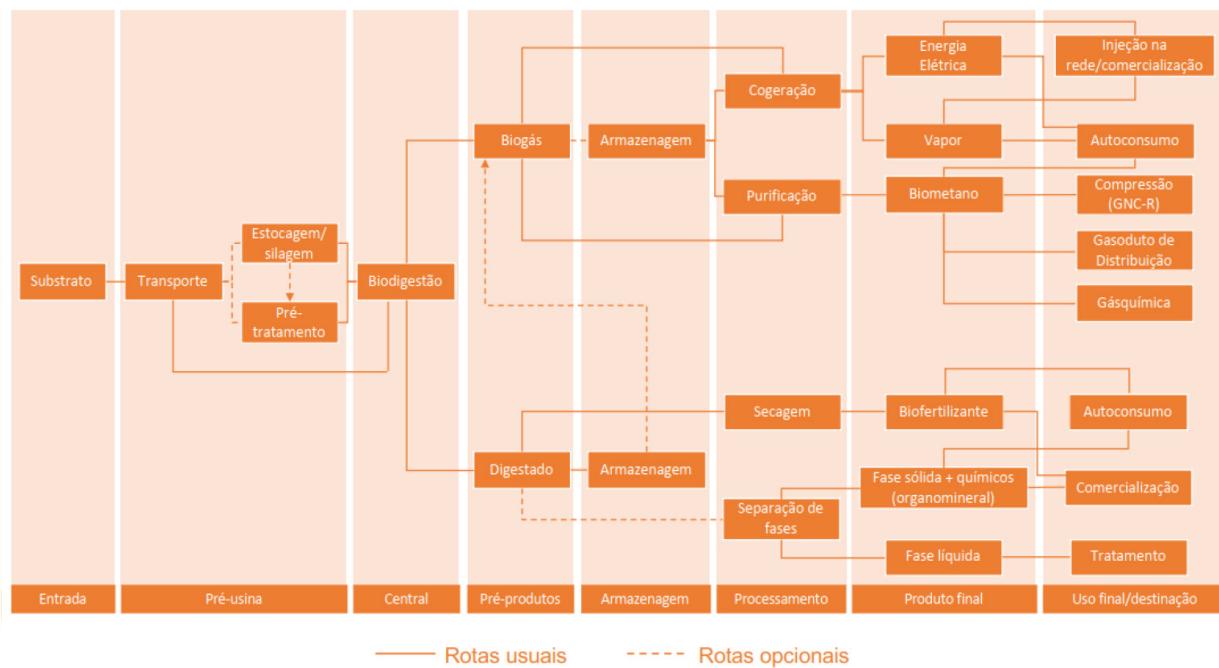
A energia é uma peça fundamental para o funcionamento de processos vitais, sendo assim, é um sustentáculo valorizado pelo homem. Esse passou a manipulá-lo e, com o passar do tempo, foram desenvolvidas novas tecnologias, atingindo o ápice na Revolução Industrial, sendo uma fase histórica marcada pela alta produção de mercadorias (WRIGLEY, 1994). Nesse momento instaurou-se a economia capitalista com produções em excesso, trazendo posteriormente preocupações ambientais devido à grande quantidade de produtos químicos e de utilização de combustíveis fósseis danosos para o meio ambiente.

Esse uso intensivo de energia a partir de fontes não renováveis alavancou estudos e pesquisas na direção de possibilitar novas formas de se obter energia e poupar os recursos naturais. Nesse cenário, a tecnologia do biodigestor ganhou protagonismo. Os conceitos sustentáveis envolvidos no processo de produção de energia por biogás tornaram-no uma das tecnologias mais estudadas e implementadas pelo mundo, entre as fontes renováveis (COELHO et al., 2018). Tecnicamente, o biogás é produzido a partir de matéria orgânica que passa pelo processo de digestão anaeróbia por microrganismos fermentativos. Essa matéria orgânica pode ser composta por resíduos alimentares, excretas de animais, podas, bagaço de cana-de-açúcar e entre outros resíduos, que podem ser reaproveitados (*European Biogas Association*, 2021).

Ainda segundo a *European Biogas Association* (2021), o biogás pode ser utilizado na forma de calor, biocombustível, biometano e eletricidade. Para que o biogás seja utilizado nessas formas de

energia, é necessário que ele passe por tratamentos, como limpeza e purificação. Assim, pode substituir o gás natural, podendo aquecer e cozer alimentos, entre outras aplicações. O biogás possui as vantagens de ser fonte renovável, opção de geração firme, armazenável, despachável e confiável, além de poder ter como subproduto o digestado, que pode ser utilizado como biofertilizante (FERNANDES; MARIANI, 2019). Na Figura 1, pode ser observado com maiores detalhes as rotas de operação em um biodigestor com os possíveis usos do biogás e direcionamento do digestado.

Figura 1 – Cadeia de produção do biogás e seus possíveis usos.



Fonte: D'AQUINO (2018).

Segundo Guilayn et al. (2019), o digestado é um composto que pode ser separado pela fase líquida e fase sólida. Essa separação é um pós-tratamento que melhora a qualidade do produto e pode atender as normas regulatórias para seu potencial uso como biofertilizante. Esse material possui na sua composição os elementos que podem ser essenciais ao solo, mas precisam passar por um processo de tratamento, seja ele físico ou químico (LU e XU, 2021).

O digestado a partir de resíduos alimentares pode apresentar uma composição química variada, pois é uma série de resíduos de determinados locais com suas particularidades, seja a cultura seja condições sócio-econômicas e entre outros fatores (CESARO, 2021). Acima de todas essas particularidades, o importante dessa composição é o alto teor de Nitrogênio, Fósforo, Potássio e outros elementos, que servem de nutrientes para plantas. Dessa forma, aumenta a produção agrícola com um melhor desenvolvimento vegetativo e ainda pode ser utilizado como defensivo natural. (MATOS, 2017). Segundo Silva e Santos (2015), as atividades humanas causam danos irreversíveis ao meio ambiente, sendo os impactos ambientais gerados por resíduos sólidos e líquidos prejudiciais ao ecossistema, ocasionando alterações na qualidade da água e solo. Dessa forma, torna-se essencial avaliar o material que poderá ser utilizado como biofertilizante.

Foi estudada pela Doutora Camila Agner D'Aquino em sua tese, finalizada em 2018, o potencial de geração de biogás a partir dos resíduos alimentares dos Restaurantes Universitário (RU) do Campus Capital da Universidade de São Paulo. Em sua tese, foi estimada a produção entre 22,7 e 36,9 toneladas mensais de resíduos gerados nos RU's. Outro resíduo do Campus é a poda, capaz de produzir cerca de mais de 22 mil m³ por ano. Dessa forma, com esses resíduos, foi estudada a implementação de uma Usina Experimental de Biogás (D'AQUINO, 2018).

Nesse projeto, a Usina foi instalada com uma potência de 75 kW e constituída por três reatores operacionais, como pode ser visto na Figura 2, com volume de 430 m³ cada, dos quais dois tanques

são biorreatores e um é tanque de digestado. Destaca-se no local, um motor de cogeração, o qual pode reaproveitar o calor gerado para aquecer os reatores. A Usina irá conter seu efluente, que é o digestado.

Da mesma forma que em 2007 houve uma crise com o aumento dos valores de fertilizantes, atualmente vive-se uma crise mundial desse material, causada pela Guerra entre Ucrânia e Rússia (BENITES, POLIDORO, RESENDE, 2010). Nesse conflito, há um impedimento de fornecer o cloreto de potássio, que é um insumo para fabricação de fertilizante (ELIAS, 2022). Dessa forma, torna-se importante o estudo de aplicação do digestado como biofertilizante em áreas agrícolas.

Havendo essa necessidade de avaliar o material e a importância de ver qual será o impacto ambiental ao dispô-lo no solo, o objetivo desse presente trabalho é avaliar a composição química do digestado da Usina Experimental de Biogás do Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP) e verificar se poderá ser utilizado como biofertilizante, tendo em vista as determinações de Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Figura 2 – Usina Experimental de Biogás instalada no Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo, Campus Capital.



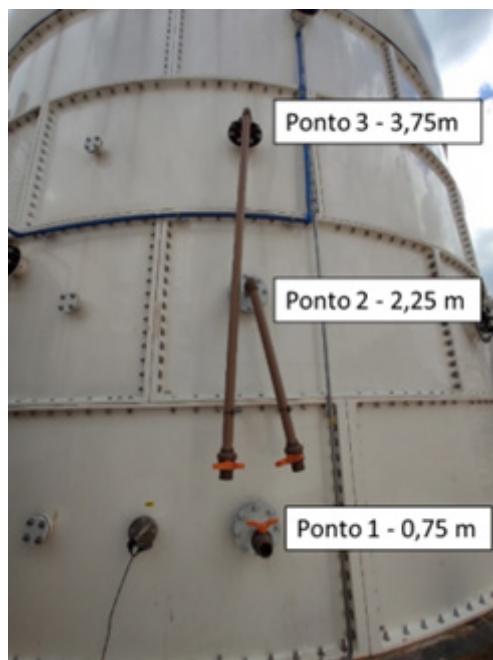
Fonte: Acervo de fotos do grupo de pesquisa (2021).

2. Materiais e Métodos

Para avaliação do digestado da Usina Experimental de Biogás do IEE/USP, foram coletadas amostras do Tanque 2 das alturas: 0,75 m, 2,25 m e 3,75 m, demonstradas na Figura 3. O biorreator estava em operação há 62 dias na faixa de temperatura de 30 °C. Para a coleta, foram realizadas amostragens compostas por parcelas de cada um dos três pontos.

O Laboratório de Fertilizantes e Corretivos e subprodutos, pertencente ao Departamento de Ciência do Solo na Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz (ESALQ) na Universidade de São Paulo, campus Piracicaba, fez as análises de micronutrientes e macronutrientes e determinou a Capacidade de Troca Catiônica (CTC), Relação Carbono e Nitrogênio (C/N) e metais pesados (arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobalto, cobre, cromo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco). Essas análises tiveram como base o Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos do MAPA (BRASIL, 2017), Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes do EMBRAPA (EMBRAPA, 2009) e Manual de Análise de Fertilizantes da Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ) (ALCARDE, 2009).

Figura 3 – Pontos de coleta nas alturas 0,75 m, 2,25 m e 3,75 m do Tanque 2 de volume útil de 430 m³, localizado na Usina Experimental de Biogás do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.



As amostras do digestado da Usina foram processadas para que as frações líquida e sólida fossem separadas. Para obtenção da fração sólida com massa final de 500 gramas, o digestado foi direcionado à secagem em estufa por 105° C em overnight, resultando no material apresentado na Figura 4(a). Adicionalmente, para a fração líquida, foi realizado o processo de centrifugação no equipamento Cientec CT-6000 a 3000 rpm por 15 minutos. O método apresentou resultados insatisfatórios, com a presença de materiais visivelmente suspensos e particulados. Assim, optou-se por armazenar o material sob temperatura de 4 °C, ocorrendo a decantação, conforme demonstrado na Figura 4 (b).

Figura 4 – Amostra sólida (a) (obtida após processamento físico – secagem) e (b) líquida (obtida após processamento físico – peneiramento e decantação a 4°C) do digestato da Usina Experimental de Biogás do Instituto de Energia e Ambiente da USP enviada para análise de macronutrientes e micronutrientes.



Para análise microbiológica, foi separada uma amostra de 100 gramas da mistura dos três pontos do Biorreator e foi submetida para verificação de presença de *Escherichia coli* totais e de *Escherichia coli* fecais, utilizando a metodologia COLItest®, que segue as recomendações da *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017) no laboratorio da Andrios Assessoria. Assim, todas as amostras foram devidamente embaladas e levadas aos laboratórios em Piracicaba.

3. Resultados e Discussões

A caracterização do digestado da Usina Experimental de Biogás do IEE está demonstrada na Tabela 1. As porcentagens de umidade, sólidos totais e sólidos voláteis estão de acordo com o reportado na literatura (Lu e Xu et al, 2021; Peng e Pivato, 2019). A análise dos microrganismos *Escherichia coli* foi realizada, sendo a ausência destes patógenos verificada, conforme exigência da Resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006), a qual assegura referenciais adequados à saúde e ao meio ambiente.

Tabela 1 – Propriedades físico-químicas e caracterização do digestado da Usina Experimental de Biogás do IEE/USP.

Parâmetros	Usina Experimental de Biogás IEE/USP		Base comparativa referencial	
	Digestado			
Umidade (%)	97,84		92,2 – 98,1	(a1)
SV/ST	61		61,7 – 73,6	(a1)
Relação C/N	3,82		2,63	(a2)
<i>E. coli</i> (fecais)	Ausente		<103 NMP / g de ST	(b)
Separação das fases				
Parâmetros	Fração sólida do Digestado (%)	Fração líquida do Digestado (%)	Aplicação via foliar (% mín)	
Nitrogênio (N)	3,71	1,06	1,00	(c)
Fósforo (P2O5)	3,82	0,45	1,00	(c)
Potássio (K2O)	1,14	0,16	1,00	(c)
C org (Teor total %)	31,5	0,42	6,00	(c)
Zinco (Zn)	0,38	10,00	0,10	(c)
Ferro (Fe)	2,31	ND	0,02	(c)
Magnésio (Mg)	0,32	0,11	0,50	(c)
Manganês (Mn)	0,02	2,75	0,02	(c)
Cálcio (Ca)	1,16	0,46	0,50	(c)
Enxofre (S)	0,58	0,21	0,50	(c)
Boro (B)	0	ND	0,01	(c)
Parâmetros	mg digestado/kg base seca	mg digestado /kg base seca	Aplicação via solo (mg/kg base seca máx)	
Arsênio	< 2,00	< 2,00	41	(b)
Bário	351,21	6,76	1300	(b)
Cádmio	6,2	< 2,00	39	(b)
Chumbo	59,63	< 2,00	300	(b)
Cobre	188,70	< 4,00	1500	(b)
Cromo	166,81	4,30	1000	(b)
Mercúrio	< 2,00	< 2,00	17	(b)
Molibdênio	9,03	< 2,00	50	(b)
Níquel	50,11	2,02	420	(b)
Selênio	< 4,0	< 4,00	100	(b)
Zinco	699,04	5,69	2800	(b)

(a1) LU e XU (2021); (a2) PENG e PIVATO (2019); (b) BRASIL (2006); (c) BRASIL (2020).

A partir da Tabela 1, pode-se notar que os valores de Umidade, ST e SV do digestado da Usina Experimental de Biogás se mostraram próximas dos valores da literatura. Assim, possui uma característica semelhante, sendo que na literatura o material foi habilitado como biofertilizante.

Segundo a Instrução Normativa Nº 61 de 2020 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2020), que estabelece as regras sobre definições, exigências e especificações de biofertilizantes destinados à agricultura, os macronutrientes e micronutrientes verificados encontram-se condizentes com a porcentagem mínima para a aplicação foliar. Nitrogênio, fósforo, potássio e ferro foram os elementos predominantes na fração sólida do digestado, com valores de 3,71%, 3,82%, 1,14% e 2,31%, respectivamente. Para a fração líquida, o destaque refere-se à porcentagem de zinco (10,00%), micronutriente essencial para o crescimento e síntese de proteínas vegetais.

Os metais investigados (arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, molibdênio, níquel) estiveram abaixo dos limites de detecção apontados pela Resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006), nas frações sólida e líquida do digestado da Usina Experimental de Biogás do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

Ressalta-se a relevância e importância das verificações realizadas e dos resultados iniciais obtidos para a valorização dos produtos de valor agregado da cadeia produtiva do biogás. No entanto, a constância e o estabelecimento de metodologias na avaliação dos parâmetros analíticos da Usina tornam-se essenciais e deverão ser priorizados para as etapas de validações e de pós-tratamento do digestado, visando o seu uso final e viabilidades econômicas, técnicas e operacionais.

4. Conclusão

A partir dos resultados da caracterização do digestado, foi possível identificar seus elementos e avaliar sua composição química. Esses resultados se mostraram positivos, pois cumprem com as limitações impostadas pela IN 61/2020 do MAPA e o CONAMA 357/2006. Além de cumprir com as normas, também se assemelha com o material estudado na literatura. Portanto, havendo esse enquadramento, o digestado da Usina pode ser utilizado como biofertilizante.

Dante desse cenário de crise de fertilizantes, torna-se importante haver essa alternativa. Como foi citado anteriormente, não é somente uma crise envolvendo a Guerra atual, é uma dependência de matéria prima para fabricação de fertilizantes. O digestado se encaixando nas características esperadas possui esse potencial uso, do qual a fração líquida pode ser usada para fertirrigação e a fração sólida como adubo orgânico.

Utilizando esse o digestado como biofertilizante, é evitado o uso de defensivos agrícolas, que possuem componentes e estruturas químicas complexas. É um material que pode afetar tanto o operador como o consumidor final da produção agrícola. Sendo assim, o digestado possui mais essa vantagem de poder evitar o uso de um produto químico tóxico.

Portanto, a produção de biofertilizante a partir de digestão anaeróbica de resíduos alimentares pode ser incorporado no mercado brasileiro e evitar que possíveis crises afetem a produção agrícola do país. É um produto que possui um alto potencial e deveria ser aplicado, mesmo que tenha processos físico-químicos de separação de fases e encareça o produto. Trata-se de uma independência de matéria prima de produtos importados e reaproveitamento de resíduo orgânico.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P, D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Re-

ferente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Bibliografia

- ALCARDE, José Carlos. Manual de Análise de Fertilizantes – Piracicaba: FEALQ, 2009. 259 p.
- APHA, American Water Works Association (AWWA, WEF and APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Ed., 2017, 1796 p.
- BENITES, Vinicius de Melo; POLIDORO, José Carlos; RESENDE, Álvaro Vilela. Oportunidades para a inovação tecnológica no setor de fertilizantes no Brasil. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, p. 18-21, set./dez. 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária – Brasília: MAPA, 2017. 240 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 61 de 8 julho de 2020: “Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura”, publicado no Diário Oficial da União, Brasília, 15 de julho de 2020. Seção 1.
- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 375, 29 de agosto de 2006: “Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.”, publicado no Diário Oficial da União, Brasília, 30 de agosto de 2006, Seção 1.
- CESARO, Alessandra. The valorization of the anaerobic digestate from the organic fractions of municipal solid waste: Challenges and perspectives. Journal of Environmental Management, v. 280, 2021.
- COELHO, Suan Teixeira; GARCILASSO, Vanessa Pecora; JUNIOR, Antônio Djalma Nunes Ferraz; SANTOS, Marilin Mariano dos; JOPPERT, Caio Luca. Tecnologias de produção e uso de biogás e biometano. Instituto de Energia e Ambiente – Universidade de São Paulo-USP. São Paulo, 2018.
- CIBIOGÁS. Nota Técnica: N° 001/2021 – Panorama do Biogás no Brasil 2020. Foz do Iguaçu, nov. de 2021.
- D'AQUINO, Camila Agner. GERAÇÃO DE ENERGIA POR BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS: ESTUDO DE CASO DA CIDADE UNIVERSITÁRIA DA USP: ESTUDO DE CASO DA CIDADE UNIVERSITÁRIA DA USP. 2018. 159 f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- ELIAS, Juliana. Como crise na Rússia e Belarus encarece os fertilizantes para o Brasil. CNN Brasil Business, publicado em 03 de mar. 2022. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/como-crise-na-russia-e-belarus-encareceu-os-fertilizantes-para-o-brasil/>>
- EMBRAPA. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes – Brasília, 2009. 624 p.
- EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION (EBA). About biogas and biomethane, 2020. Disponível em:<<https://www.europeanbiogas.eu/about-biogas-and-biomethane/>>. Acesso em 30 de nov. 2021.
- FERNANDES, Gláucia.; MARIANI, Leidiane. O alto potencial de Produção e uso fará do biogás a próxima fronteira da energia renovável no Brasil? Caderno Opinião, FGV Energia, 2019.
- GUILAYN, F.; JIMENEZ, J.; MARTEL, J-L.; ROUEZ, M.; CREST, M.; PATUREAU, D. First fertilizing-value typology of digestates: A decision-making tool for regulation. Waste Management, v. 86, p. 67-79, 2019.
- LU, Jin.; XU, Suyun. Post-treatment of food waste digestate towards land application: A review. Journal of Cleaner Production, v. 303, p. 127033, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127033>>. Acesso em 13 de nov. 2021.

MATOS, Camila Ferreira. Produção de Biogás e Biofertilizante a Partir de Dejetos de Bovinos, sob Sistema Orgânico e Convencional de Produção. 2016. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016

PENG, Wei.; PIVATO, Alberto. Sustainable Management of Digestate from the Organic Fraction of Municipal Solid Waste and Food Waste Under the Concepts of Back to Earth Alternatives and Circular Economy. *Waste Biomass Valorization*, v. 10, p. 465-481, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12649-017-0071-2>>.

SILVA, Marivaldo Cavalcante da; SANTOS, Bismarck Silva. Degradação do córrego Ribeirão dos porcos no município em Ananás - TO. FSA, p. 127-141, 2015.

WRIGLEY, Edward Anthony. "The Classical Economists, The Stationary State, and the Industrial Revolution. In Was the Industrial Revolution Necessary?" Ed. Graeme Donald Snooks, ROUTLEDGE London and New York, 1994.

A função do Advocacy na transição energética amazônica: um estudo de caso sobre o Fórum de Energias Renováveis de Roraima

The Function of Advocacy in the Amazon's energy transition: a case study of Renewable Energy Forum of the Brazilian State of Roraima

André Andriw Santos Da Silva¹

Sumário: 1. Introdução. 2. Sistemas de Inovação e transição energética. 3. Função das redes de advocacy na transição energética. 4. Insustentabilidade da matriz elétrica do Estado de Roraima. 5. Fórum de Energias Renováveis de Roraima (FERR) como rede de advocacy. 5.1 Caracterizando os membros do FERR. 5.2 Posicionamento dos atores frente as soluções de transição 6. Conclusão. Referências

Resumo: A transição energética no Brasil se diferencia de outros processos implementados em nações desenvolvidas e em desenvolvimento. Dada elevada presença de fontes renováveis na matriz energética e elétrica nacional, a transição aparentemente já ocorreu no país. Contudo, identificam-se na Amazônia brasileira uma forte dependência de geração elétrica com combustível fóssil, que, além de ineficiente, possui um custo de operação elevado. Tal fato motivou a formação de redes de advocacy em prol da transição energética regional baseada em tecnologias renováveis. Assim, este artigo questiona: como os grupos de interesse locais defendem uma agenda de transição energética em um território dominado por tecnologia fóssil? A hipótese diz que os atores se organizam em redes de advocacy que usam estratégias pragmáticas de transição, isto é, buscam adotar soluções com tecnologia renovável sem romper bruscamente o regime vigente. Neste sentido, o objetivo do artigo é analisar os grupos de interesse favoráveis às energias renováveis na Amazônia, concentrando-se no caso do Fórum de Energias Renováveis de Roraima (FERR). Os procedimentos metodológicos adotados para atingir o objetivo foram determinados por uma análise integrativa que contou com uma revisão da literatura sobre o papel dos atores na construção do sistema específico de inovação tecnológica (SEIT) e um estudo de caso sobre a atuação do FERR na transição energética em Roraima. Para fundamentar o estudo de caso, revisou-se notícias e material audiovisual do FERR entre 2019 e abril de 2021. Após combinar o referencial teórico e o estudo de caso, o estudo concluiu que os membros do FERR preferem soluções pragmáticas, que não rompem bruscamente com o regime vigente, uma vez que a rede cumpre parcialmente as funções de um SEIT, carecendo de apoio da sociedade e da indústria para buscar propostas mais ambiciosas de transição energética junto ao governo brasileiro.

Palavras-chave: Advocacy; transição energética; Amazônia; Brasil.

Abstract: The brazilian energy transition differ from others development and developing countries since it's energy threshold is diversified with renewables sources. However, there is a strong dependence on fossil fuel electricity generation in the Brazilian Amazon, which, in addition to being inefficient, has a high operating cost. This fact motivated the formation of advocacy networks in favor of the regional energy transition based on renewable technologies. Hence, this study inquires the extent to which local advocacy networks are committed to the Amazon energy transition. The study hypothesis says that local advocacy networks tend to adopt pragmatic transition proposals, characterized by the

¹ Mestrando em Relações Internacionais no PPGRI San Tiago Dantas (Unesp, Unicamp, PUC-SP).
e-mail: andreandriw1@gmail.com

adoption of renewable technologies without abruptly breaking the fossil fuel regime. In this sense, the objective of the article is to analyze the interest groups in favor of renewable energies in the Amazon, focusing on the case of Renewable Energy Forum of the Brazilian State of Roraima (FERR). The methodological procedures adopted to achieve the objective were determined by an integrative analysis that included a literature review on the role of actors in the construction of the specific technological innovation system (SEIT) and a case study on the role of FERR in the energy transition in Roraima. To support the case study, were collected news and audiovisual material between 2019 and April 2021 about the FERR. After combining the theoretical framework and the case study, the study concluded that FERR members prefer pragmatic solutions, which do not break abruptly with the current regime. It also shows that this position is adopted since the network partially fulfills the functions of a SEIT, lacking the support of society and industry to seek more ambitious proposals for energy transition with the Brazilian government.

Keywords: Advocacy; energy transition; Amazon; Brazil.

1. Introdução

A transição para uma economia com baixa emissão de carbono é considerada o único caminho para mitigar os impactos das mudanças climáticas e, assim, manter a sobrevivência da humanidade. Por se tratar de um processo complexo, pois envolve múltiplos fatores e atores, não existe um mapa comum para todos os países, o que estimula a disputa entre o regime fundamentado em combustíveis fosseis e a ascensão de atores que dominam tecnologias mais sustentáveis (ARENTE *et al.*, 2017; SURRS; HEKKERT, 2012).

Rogge e Reichardt (2016) argumentam que é justamente na política que os caminhos para transição ganham forma, já que os atores organizam seus interesses em uma agenda com intuito de ganhar apoio governamental. Assim, a transição deve ser interpretada mais como um processo sociotécnico complexo, não linear, do que simplesmente a substituição de uma fonte energética fóssil por renováveis, uma vez que a ascensão das tecnologias renováveis envolve a formação de novos arranjos institucionais e mercadológicos ao longo do tempo (ELLIOT, 2000).

No Brasil, o desafio diz respeito não só diminuir a dependência das hidrelétricas na geração de eletricidade, uma vez que a expansão dessas estruturas se tornou limitada perante as variações climáticas, mas também levar energia de qualidade e sustentável para regiões isoladas, como a Amazônia, onde residem 950 mil habitantes sem energia elétrica (IEMA, 2019). O fornecimento de eletricidade para Amazônia é majoritariamente encabeçado pelos sistemas isolados (SISOLs), isto é, o conjunto de usinas termoelétricas alimentadas à óleo diesel (EPE, 2021). A operação dos SISOLs, com geração média de 449 MW, possui um custo anual de 7 bilhões de reais em subsídios, tornando-se um dos sistemas elétricos mais caro do Brasil. Ao considerar os custos ambientais, sociais e financeiros inerentes ao funcionamento dos sistemas isolados, a transição para um complexo de energias renováveis se tornou uma alternativa para os estados amazônicos combinarem segurança energética com desenvolvimento sustentável (IEMA, 2019).

Essa condição fomentou a articulação de atores locais e regionais em prol das fontes renováveis. Contudo, o desconhecimento em relação as tecnologias por governadores e prefeitos, bem como a manutenção do status quo por atores ligados aos privilégios dos sistemas isolados tem limitado as discussões sobre a transição energética amazônica. Assim, este estudo questiona até que ponto as redes de advocacy estão comprometidas com a transição energética amazônica. A hipótese adotada diz que as redes de advocacy tendem a adotar propostas pragmáticas de transição, que são caracte-

rizadas pela adoção de tecnologias renováveis sem romper bruscamente com o regime dos combustíveis fósseis da região. Nesse sentido, o objetivo do artigo é analisar os grupos de interesse favoráveis às energias renováveis na Amazônia, concentrando-se no caso do Fórum de Energias Renováveis de Roraima (FERR).

Os procedimentos metodológicos adotados para atingir tal fim foram balizados por uma análise integrativa que envolveu uma revisão da literatura sobre sistemas de inovação, que aponta a função das redes de advocacy na legitimação da transição energética. Ademais, aplicou-se um estudo de caso sobre a atuação do FERR entre 2019 e abril de 2021. Para embasar o estudo, revisou-se notícias e material audiovisual disponibilizado no site do FERR.

A discussão do estudo foi dividida em quatro seções. Na primeira, busca-se ilustrar a concepção do sistema específico de inovação tecnológica e como as redes de advocacy se articulam para legitimar a transição energética. Na segunda seção, contextualiza-se os problemas energéticos do estado de Roraima, ao passo que na terceira apresenta-se a atuação do FERR, como também o posicionamento dos membros frente as soluções energéticas para o estado. Por último, faz-se uma síntese acerca dos laços teóricos do SEIT e o caso estudado.

2. Sistemas de inovação e transição energética

A compreensão da transição energética tem ocorrido por meio da combinação interdisciplinar das teorias institucionalistas e evolucionárias, já que a passagem de um regime sociotécnico para outro mais sustentável envolve principalmente o desenvolvimento de inovações e tecnologias (KEMP; SOETE, 1992). Conforme Hekkert *et al.* (2007), o modelo dos Sistemas de Inovação tem cumprido a função de entender a trajetória do desenvolvimento tecnológico sustentável. Nesse caso, o modelo tem como premissa básica que tanto a inovação como a difusão de tecnologia são processos individuais e coletivos, o que abrange interações no nível da firma, bem como dinâmicas interdependentes com o sistema nacional de inovação.

Um Sistema de Inovação pode ser entendido como o conjunto de instituições públicas e privadas e mecanismos econômicos que afeta tanto a direção do desenvolvimento como a mudança tecnológica em uma sociedade (EDQUIST; LUNDVALL, 1993; HEKKERT *et al.*, 2007). Como a transição energética envolve a adoção de energias renováveis, o que está em questão é quando essas tecnologias se tornarão competitivas ao ponto de superarem as fontes fósseis e se acoparem ao regime vigente ou estabelecerem um novo. Responder essa indagação depende de quais tecnologias estamos abordando, já que cada fonte renovável possui especificidades técnicas dependentes do contexto socioeconômico local, regional, nacional e internacional, o que determinará sua inserção e difusão – ou não – no mercado (VERBONG; LOORBACH, 2012).

Por isso, Hekkert *et al.* (2007) prefere uma abordagem específica da tecnologia ou Technology Specific Innovation System (TIS) como meio de analisar a direção e o desenvolvimento das fontes renováveis. Por Sistema Específico de Inovação Tecnológica (SEIT) entende-se a combinação interrelacional de setores e empresas, circunscrita por um conjunto de regulações e instituições que moldam o comportamento e a infraestrutura de conhecimento inerente à tecnologia específica (SUURS; HEKKERT, 2012).

O Sistema Específico de Inovação Tecnológica (SEIT) faz parte do conjunto do Sistema Nacional de Inovação (SNI), sendo este constituído a partir do agregado de instituições e organizações industriais e de ensino que interagem para produzir, difundir, importar e aplicar inovações e tecnologias. Internamente, o SNI possui diversos setores de inovação que se relacionam, industrial e economicamente, com o Sistema Específico de Inovação Tecnológica (HEKKERT *et al.*, 2007).

Essa interação se torna perceptível a partir da contextualização com uma tecnologia renovável.

Vejamos o caso dos aerogeradores, muito utilizado pelo setor eólico: estes precisam de recursos de pesquisa e desenvolvimento aplicados em centros de pesquisa para aprimorar sua estrutura a fim de produzir mais energia elétrica; a fabricação dos aerogeradores possui conhecimento aplicado dos setores aeronáutico, mecânico, microeletrônico e da construção civil (GWEC, 2019).

Por se tratar de uma tecnologia emergente, diversos riscos inerentes ao seu funcionamento precisam ser tomados por uma entidade financiadora, geralmente o governo, o qual pode incentivar a difusão dos aerogeradores no mercado. Contudo, a aceitação desse artefato tecnológico pela sociedade depende de informações, cujas organizações que formam o SEIT são responsáveis por compartilhar e legitimar as ações em prol da energia eólica.

A partir dessa abstração observa-se a existência de funções do sistema de inovação, que do ponto de vista da abordagem do Sistema Específico de Inovação Tecnológica (SEIT) se dividem em sete, como destacado na tabela 1, elaborada com base em Hekkert e Suurs (2012). A atividade empreendedora (F1) é fundamental para o funcionamento do SEIT, pois o empreendedor é responsável por traduzir o conhecimento em oportunidades de negócio geralmente inovadoras que desafiarão o status quo.

De acordo com Hekkert et al. (2007), a atividade empreendedora pode ser exercida tanto por empresas entrantes no mercado como por incumbentes que buscam diversificar o seu portfólio de ativos a fim de explorar novas oportunidades de negócios. Neste caso, expor-se ao risco torna-se uma característica chave dos empreendedores, já que estes demonstram e testam a tecnologia no mercado, compartilhando informações (*feedbacks*) com centros de pesquisa para aprimoramento da tecnologia.

Essa interação faz parte da segunda função do SEIT, desenvolvimento de conhecimento, cuja dinâmica diz respeito a existência de atividades que envolvam aprendizado por meio da pesquisa científica e da aplicação tecnológica. Essa função é desempenhada principalmente por centros privados de pesquisa e universidades que demandam investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) a fim de avançar o conhecimento e, propriamente, o domínio da tecnologia (SUURS; HEKKERT, 2012).

A terceira função, difusão de conhecimento, encontra-se no eixo da produção do saber. O bom funcionamento do sistema específico de inovação tecnológica é determinado pela capacidade de circulação da informação em diversas organizações que sustentam a inovação, como o mercado, as universidades e o governo. Por isso, a elaboração de relatórios, conferências, workshops e redes de diálogo com empresas, centros de ensino e entidades governamentais são fundamentais para fortalecimento informacional acerca dos projetos de pesquisa e desenvolvimento enquadrados no SEIT.

Como a pesquisa e o desenvolvimento demandam recursos financeiros e humanos, a ativação da função orientação da pesquisa (F4) é primordial para melhor alocar os recursos escassos. Hekkert et al. (2007) afirma que enquanto o desenvolvimento de conhecimento (F2) busca uma gama de tecnologia, a orientação dada por empresas, universidades e entidades governamentais delimita o que será utilizado por meio de critérios, metas e objetivos de médio e longo prazo.

O efeito dessa função no sistema de inovação pode ser observado pela mudança na preferência da sociedade, influenciando a aplicação de recursos em P&D (F2) e determinando a trajetória da mudança tecnológica. Além da expectativa da população e do mercado, são atividades da orientação da pesquisa a definição de áreas estratégicas para políticas públicas de Ciência, Tecnologia e Inovação (CTI), critérios para P&D e padronização de *designs* (HEKKERT et al., 2007).

Sobre a função de formação de mercado (F5), o que se observa é que as tecnologias emergentes não conseguem competir igualmente com as incumbentes. Nesse sentido, busca-se a criação de mercados artificiais através de mecanismos econômicos e legais para proteger e nutrir o desenvolvimento das tecnologias no seu nicho até atingir a maturidade, determinada pela redução dos custos de

produção e aceitação pela sociedade, ganhando aderência ao regime sociotécnico.

Suurs e Hekkert (2012) apontam que a formação de mercado corresponde a função complexa do sistema de inovação. Isso porque sua performance depende do funcionamento integrado das funções anteriores (F1, F2, F3 e F4), além da mobilização de recursos (F6), financeiros e humanos, que são aplicados por meio de instrumentos como subsídios, compras públicas, isenções fiscais, e programas de capacitações. A grande questão diz respeito ao tempo de uso dos instrumentos na sustentação do mercado artificial, que geralmente se perdem ao longo do tempo e, portanto, deformam o funcionamento do SEIT.

A mobilização de recursos (F6) para desenvolver novas tecnologias enfrentam ampla resistência do regime vigente. Por isso, as redes de advocacy (F7) são fundamentais para legitimar as demais funções do SEIT diante da inércia do status quo e angariar o apoio social e governamental para viabilizar as inovações. É justamente sobre essa função que este estudo tratará de aprofundar no tópico a seguir (HEKKERT *et al.*, 2007).

Tabela 1 – Funções do Sistema Específico de Inovação Tecnológico

Função	Descrição	Exemplificação
F1 – Atividade empreendedora	A função do empreendedor e traduzir o conhecimento em oportunidades de negócio, e eventualmente em inovação. Ele realiza experimentos orientados para o mercado, estabelecendo a mudança tanto tecnológica como institucional	Projetos com foco comercial, demonstrações tecnológicas, expansões de portfólio
F2 – Desenvolvimento de conhecimento	Atividades que envolvem aprendizado, sobretudo no desenvolvimento de novas tecnologias, bem como para mercados, redes e usuários. O aprendizado pode ser fazendo ou pesquisando.	Estudos, testes em laboratório, projetos pilotos.
F3 – Difusão de conhecimento	Inovações ocorrem quando atores de diferentes contextos interagem. A difusão de conhecimento pode ser através da interação usando e compartilhando experiências.	Conferências, workshops, redes de pesquisa e universidades
F4 – Orientação da pesquisa	Definição de critérios e objetivos para alocação dos recursos financeiros e humanos. Expectativas dos atores sobre desenvolvimento de novas tecnologias também são enquadradadas.	Expectativas, critérios para políticas públicas, padronização.
F5 – Formação de mercado	Tecnologias emergentes não conseguem competir igualmente com as incumbentes. Por isso, necessita-se de instrumentos legais e econômicos para criar mercados artificiais a fim de criar demanda e sustentar a inovação.	Regulação do mercado e isenções fiscais.
F6 – Mobilização de recursos	Alocação de recursos financeiros, material e humanos. Primordial para todo o SEIT	Subsídios, investimentos e capacitação dos recursos humanos.
F7 – Legitimização/advocacy	A ascensão de tecnologias emergentes sempre resiste no regime vigente. Para o SEIT se desenvolver, é necessário atacar a inércia, tanto utilizando autoridades para reconfigurar o sistema como conscientizando a sociedade sobre as vantagens competitivas da tecnologia.	Lobbies, consultorias, redes de advocacy e mídia especializada.

Fonte: Elaboração do autor. Com base em SUURS; HEKKERT (2012)

3. Função das redes de advocacy na transição energética

A legitimação do sistema específico de inovação tecnológica (F7) parte da noção de legitimar a transição energética como forma de atingir um modelo de desenvolvimento econômico mais sustentável. A sociedade civil, geralmente organizada em torno das Organizações Não-Governamentais (ONGs) vinculadas ao ambientalismo, desempenha historicamente a função de criticar a inércia do regime vigente a fim de que se adote caminhos mais sustentáveis (GOMEL; ROGGE, 2020).

Contudo, as mudanças profundas na sociedade sempre foram determinadas por disputas de poder entre grupos de interesse vinculados ao mercado dos quais recorrem as instituições governamentais para angariar apoio financeiro, proteção/incentivo legal ou modificar posturas decisórias. Os atores utilizam o lobby e o advocacy como estratégias² de convencimento da população e dos formuladores de políticas públicas para apoiar determinadas agendas (GOMEL; ROGGE, 2020; JACOBSSON; LAUBER 2006).

No caso da transição energética, a prática do advocacy esteve presente, em menor ou maior grau, no desenvolvimento das tecnologias renováveis, determinando o sucesso – ou não – da trajetória tecnológica renovável ao cumprir as funções de buscar recursos e instrumentos de apoio mercadológico. Suurs e Hekkert (2012) argumentam que o papel das redes de advocacy no bojo do sistema específico de inovação tecnológica crescem conforme o apoio governamental e a difusão da tecnologia no mercado, ampliando a legitimidade e a influência perante as instituições governamentais. Por outro lado, essas redes são fragilizadas quando não contam com recursos (F6), empresários (F1) e apoio mercadológico (F5).

Casos de sucesso que revelam a participação das redes de advocacy na promoção das fontes renováveis são encontrados na Europa e em menor grau na América Latina. Destaca-se que o sucesso dessas redes em atingir o objetivo também foram determinados pelo grau de abertura da administração governamental em aceitar a participação dessas organizações no desenho das políticas públicas, convergindo para um modelo Botton up – construção das ações de baixo para cima –, em vez do top down, que é um modelo com poucas aberturas e característico de um Estado centralizador (JACOBSSON; LAUBER, 2006).

O caso da Alemanha se revela justamente por um modelo bottom up, onde as redes de advocacy conseguem participar ativamente na formulação e implementação das políticas de apoio setoriais. Jacobsson e Lauber (2006) analisaram o papel das coalizações de advocacy na estruturação dos mecanismos de apoio à difusão da energia eólica e solar no país. Nesse contexto, as redes de advocacy muniram parlamentares com informações robustas sobre o nível de desenvolvimento tecnológico dos aerogeradores e das células solares, ao passo que denunciavam os danos ambientais à saúde pública causados pela indústria carvoeira e nuclear.

Rogge e Reichardt (2016) acrescentam que o principal fator para o apoio do governo alemão ao setor eólico e solar diz respeito a participação da indústria dentro das redes de advocacy, que se nutria a partir de ONGs e empresas. Outro caso alemão diz respeito ao setor das células a combustíveis, onde o sistema de inovação tecnológica foi organizado em redes de advocacy que atuavam estrategicamente na consecução de recursos para P&D, capacitação de profissionais, criação de manuais de instalação e padronização de componentes (MUSIOLIK; MARKARD, 2011).

Na América Latina existem casos em estágio embrionário. Gomel e Rogge (2020) analisaram o caso da Argentina, que apesar da presença das coalizações de advocacy a favor das fontes renováveis, não possuía uma indústria capaz de convencer os formuladores de políticas públicas a

² O conceito de advocacy ainda não possui uma padronização. Nesse sentido, adota-se a concepção de redes de advocacy, que consistem em um conjunto de atores que atuam estrategicamente em defesa de uma causa comum (GOMEL; ROGGE, 2020).

implementarem ações integradas de apoio ao setor, criando um sistema disfuncional. Por outro lado, há organizações no Brasil que formam coalizações de advocacy no âmbito das energias renováveis que contam com apoio da indústria. Destaca-se a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) e Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica). Porém, ainda não há estudos que sistematizem suas ações no modelo de sistema específico de inovação tecnológica.

4. Insustentabilidade da matriz elétrica do estado de Roraima

O estado de Roraima está localizado no extremo norte da Amazônia Legal, fazendo fronteira com a Venezuela e a República Cooperativa da Guiana. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), a unidade federativa possui uma população estimada em 631.181 pessoas das quais encontram-se distribuídas em 15 municípios. Trata-se da única unidade federativa brasileira que não está conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN), o que deixou o estado na dependência de importação de energia elétrica da Venezuela, via Linha de Transmissão de Guri/Macágua, por duas décadas (EPE, 2020).

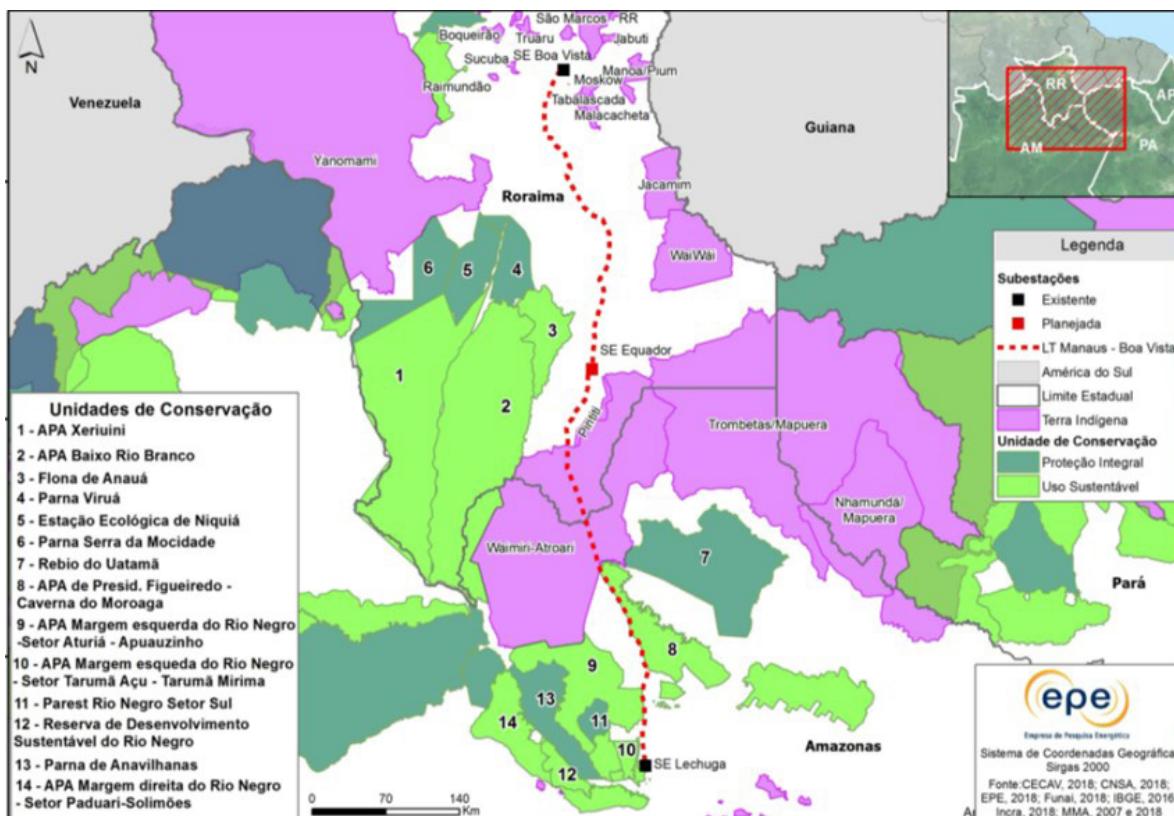
Com a suspensão do fornecimento em março de 2019, em razão do colapso político e socioeconômico da Venezuela, Roraima passou a ser abastecida por usinas termelétricas a diesel que fazem parte dos Sistemas Isolados³ (SISOL) da Amazônia. Os SISOLs foram projetados para se adaptarem as barreiras físicas e geográficas da região amazônica, tornando-se os principais geradores de energia elétrica da região Norte. Entretanto, os SISOLs possuem um custo anual de R\$ 7 bilhões em subsídios dos quais são cobertos pelo consumidor através da Conta de Consumo de Combustíveis⁴ (CCC), além de ser ambientalmente insustentável (EPE, 2021).

A insustentabilidade da matriz elétrica de Roraima se amplia também pelas dificuldades de implementar não só soluções coerentes com o espaço amazônico, mas também que respeitem os povos tradicionais da região. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), o Ministério de Minas e Energia (MME) licitou em 2011 o sistema de transmissão, tendo a Sociedade de Propósito Específico Transnorte como vencedora para fornecer o serviço por 30 anos. Em 2012, a empresa solicitou a abertura do processo de licenciamento ambiental junto ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que obteve uma licença prévia em 2015, mas que foi anulada em 2016 por questões envolvendo a passagem do linhão dentro da Terra Indígena Waimiri-A-troari, cujas lideranças são contra o empreendimento (figura 1) (EPE, 2021).

³ Conforme o ONS (2021), os sistemas isolados são um conjunto de termelétricas abastecidas com óleo diesel que operam em regiões desconectadas do Sistema Interligado Nacional (SIN).

⁴ Conforme a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), a CCC é um encargo do setor elétrico brasileiro pago por todas as concessionárias de distribuição e de transmissão de energia elétrica, de forma a subsidiar os custos anuais de geração em áreas ainda não integradas ao Sistema Interligado Nacional - SIN, chamadas de Sistemas Isolados.

Figura 1 – Traçado planejado da Interligação Manaus-Boa Vista



Fonte: EPE (2018)

Outra solução em estudo diz respeito a construção da Usina Hidrelétrica Bem Querer com potência instalada de 650MW. Trata-se de um projeto com forte apoio do governo estadual e do MME, uma vez que permitiria ao estado de Roraima exportar o excedente de energia elétrica para o restante do país através do SIN⁵. Soma-se a isso a instalação de eclusas que possibilitaria a navegação entre o município de Caracaraí e a capital Boa Vista (EPE, 2018).

Contudo, os impactos ambientais são elevados, já que se prevê a construção do reservatório com 150 km de extensão e uma área aproximada de 520 km². Dessa área, 37% correspondem a calha do rio Branco e de seus afluentes, ao passo que 63% seriam áreas inundadas entre Boa Vista, Mucajaí, Caracaraí, Cantá e Iracema (EPE, 2018). A inundação causada pelo reservatório afetaria principalmente as comunidades ribeirinhas e áreas indígenas que possuem rios tributários ao rio Branco, bem como alagaria parte da BR-174, principal rodovia que liga Roraima ao Amazonas (EPE, 2018).

A demanda por soluções com menos impactos ambientais fez com a EPE apresentasse alternativas que mitigassem a insegurança energética roraimense e aproveitasse o potencial energético renovável de Roraima. O primeiro passo diz respeito as alterações no Decreto nº 9.047/2017, que substituiu os Projetos de Referência, elaborados pelas distribuidoras, pelas Propostas de Solução de Suprimentos, que devem ser apresentadas por agentes interessados nos leilões dos Sistemas Isolados (EPE, 2019).

O segundo passo veio com a Portaria MME nº 512/2018, que determinava a realização do leilão para os SISOLs com fontes variadas, totalizando nove projetos com 294 MW de potência. Pela primeira vez, o leilão possibilitou a participação de agentes interessados com soluções hibridas, tecnologia fotovoltaica, termelétricas a gás natural, biogás e óleo combustível (EPE, 2019).

A presença de agentes interessados em desenvolver projetos com fontes alternativas conflita com os interesses das distribuidoras que sobrevivem via operação das termelétricas dos Sistemas Isolados. Tal situação fez com diversos atores locais se mobilizassem para buscar alternativas renováveis e remediasse os conflitos de interesse em torno das reformas da matriz elétrica roraimense, como é o caso do Fórum de Energias Renováveis de Roraima (FERR).

5 Conforme a EPE (2018), isso se daria pelo aproveitamento das cheias do rio Branco entre junho e agosto, período em que outros reservatórios brasileiros estão secos.

5. Fórum de Energias Renováveis de Roraima (FERR) como rede de advocacy

5.1 Caracterizando os membros do FERR

O Fórum de Energias Renováveis de Roraima (FERR, 2021) foi criado em 2019 com intuito de formular propostas de políticas públicas e propor interlocução e articulação institucional em prol do desenvolvimento energético de Roraima. Conforme o site institucional, a organização tem como objetivo sensibilizar, conscientizar e qualificar a opinião pública em relação aos desafios da questão energética em Roraima, com ações efetivas e soluções sustentáveis para a sociedade (FERR, 2021).

A tabela 2, elaborada conforme dados disponibilizados no site do FERR, apresenta os membros da organização. Tais atores representam setores importantes do âmbito público e privado do estado de Roraima. Dentro da lógica do Sistema Específico de Inovação Tecnológica (SEIT), tais atores desempenham funções com complexidades variadas, destacando-se a combinação de instituições de ensino e pesquisa que desenvolvem (F2), difundem (F3) e orientam (F4) conhecimento sobre tecnologias renováveis.

A Universidade Federal de Roraima (UFRR) é a principal instituição pública com foco em P&D na região. Não obstante, o FERR possui acordo de cooperação com a UFRR para desenvolver projetos com tecnologia fotovoltaica sob coordenação do Departamento de Engenharia Elétrica (FERR, 2021b). Complementarmente, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e o Instituto Evaldo Lodi (IEL) formam o eixo de capacitação de recursos humanos por meio de cursos técnicos e inserção da mão de obra qualificada no mercado de trabalho.

No eixo empresarial (F1) visualiza-se a presença de incumbentes do setor elétrico amazônico, como a Roraima Energia e a Eletronorte, subsidiária da Eletrobrás. A Roraima Energia é a principal distribuidora de energia elétrica em Roraima, formando-se a partir da parceria entre a Oliveira Energia (54% do capital) e a Atem's Distribuidora de Petróleo S.A (36% do capital). No levantamento do portfólio das empresas não foram encontrados ativos vinculados a geração de energia renovável (RORAIMA ENERGIA, 2021).

Tabela 2 – Membros do Fórum de Energias Renováveis de Roraima

Governo Estadual	Org. Não-Governamentais	Empresas
SEAPA/RR	Clima e Sociedade – iCS	Roraima Energia
SEINF	Instituto Socioambiental	Eletrobras Eletronorte
	Hutukara Associação Yanomami	
	Conselho Indígena de Roraima - CIR	
Agências Industriais	Instituições de Ensino e Pesquisa	Conselhos Profissionais
Federação das Indústrias de RR – FIER	Universidade Federal de Roraima – UFRR	AEER
SEBRAE	SENAI	CAU/RR
FECOMÉRCIO/RR	Inst. Evaldo Lodi - IEL	CREA/RR
Sist. FAER/SENAR/RR		
Sist. OCR		

Fonte: elaboração do autor. Com base em FERR (2021)

A Eletronorte é a principal empresa pública inserida no setor elétrico amazônico. O portfólio da empresa divide-se em geração, sobretudo por hidrelétricas, e transmissão de energia, onde constituiu uma Sociedade de Propósito Específico (SPE) com a Alupar para formar a Transnorte Energia S.A e explorar a concessão do Linhão de Tucuruí (interligação Manaus-Boa Vista) (ELETRO NORTE, 2021).

As Organizações Não-Governamentais (ONGs) associadas ao FERR possuem bases de atua-

ção diversificada. O portfólio do Instituto Clima e Sociedade (iCS) e do Instituto Socioambiental (ISA) estão inseridos na agenda do desenvolvimento sustentável, assessorando o FERR com estudos técnicos sobre governança ambiental e exploração do potencial energético sustentável de Roraima, como também mobilizando recursos (F6) para financiamento de projetos locais. As participações do Conselho Indígena de Roraima (CIR) e da Hutukara Associação Yanomami envolvem discussões sobre como as soluções podem afetar os povos indígenas, mas também encontrar apoio para solucionar problemas de infraestrutura elétrica nas comunidades isoladas (FERR, 2021).

Por parte do Governo Estadual existem duas secretarias estratégicas vinculadas ao FERR, como a Secretaria Estadual de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAPA/RR) e a Secretaria Estadual de Infraestrutura de Roraima (SEINF/RR). A importância dessas burocracias se revela pela necessidade de acompanhar os trâmites burocráticos para aprovar projetos privados e políticas públicas de eletrificação rural, como o Mais Luz para a Amazônia.

As Agências Industriais formam o eixo com maior dinamismo dentro do FERR. Isso porque a presença da Federação das Indústrias do Estado de Roraima (FIER), da Federação do Comércio de Bens, Serviços e Turismo do Estado de Roraima (FECOMÉRCIO/RR) representam o eixo empresarial roraimense, com forte poder de mobilização de recursos. Adicionalmente, a articulação da Federação da Agricultura e Pecuária do Estado de Roraima (FAER) com o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR) e Organização das Cooperativas de Roraima (OCR) formam um sistema com capilaridade no meio rural roraimense (FERR, 2021).

A agenda dessas organizações envolve principalmente a capacitação do empreendedor urbano e rural, convergindo interesses quanto ao fornecimento de infraestrutura energética para o desenvolvimento de Roraima. Por último, encontram-se os conselhos profissionais dos quais apresentam interesses difusos, visto que são formados pelo Conselho Regional de Arquitetura e Urbanismo (CAU/RR), Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA/RR) e Associação dos Engenheiros Eletricistas de Roraima (AEER). Dentro do FERR, tais conselhos possuem uma agenda vinculada ao fornecimento de opinião técnica sobre a questão energética roraimense tanto na mídia como em eventos oficiais do FERR.

5.2 Posicionamento dos atores frente as soluções para transição

A análise sobre o posicionamento dos atores sobre as soluções para a reforma da matriz elétrica roraimense considerou principalmente a opinião não só dos membros do FERR no noticiário da instituição, mas também de atores externos, que são relevantes na implementação de soluções enérgicas. As principais propostas para transição energética de Roraima são: a) construção da Usina Hidrelétrica de Bem Querer; b) construção do linhão de Tucuruí c) adoção de tecnologias mais sustentáveis.

Tabela 3 – Propostas para reforma da matriz elétrica de Roraima

Solução	Característica	Preferência dos atores
UHE Bem Querer	Centralização. Considerada limpa se comparado as UTE, porém com impactos sociais e ambientais elevados. Empregos durante a obra.	Governo Estadual, MME, Eletro-norte, Roraima Energia.
Linhão de Tucuruí	Centralização. Permite a interligação de RR com o SIN. Impactos sociais e ambientais médios. Empregos gerados durante a obra.	Governo Estadual, Eletronorte, Roraima Energia, MME, FERR*

Tecnologias mais sustentáveis	Descentralização. Combinação de tecnologia fotovoltaica com baterias, biomassa e PCHs. Adoção de Políticas de Eficiência Energética. Capacidade de gerar empregos no longo prazo.	FERR*, Instituto Clima e Sociedade, Instituto Socioambiental, CIR, Hutukara Associação Yanomami.
-------------------------------	---	--

Fonte: elaboração do autor. Com base em FERR (2021b)

A tabela 3, elaborada com base no site de notícias do FERR (2021b), apresenta as características das soluções e as respectivas preferências dos atores. Dentre as propostas, a construção da UHE Bem Querer possui preferência do Governo Estadual, Ministério de Minas e Energia (MME) e da Eletronorte. Trata-se de um projeto infraestruturante que sustenta a manutenção do regime centralizado de expansão das hidrelétricas na Amazônia sob coordenação de associações de empresas. A aderência do MME e da Eletronorte se fundamenta na visão de que a hidrelétrica solucionaria não só os problemas energéticos de Roraima, mas também permitiria a exportação do excedente via Sistema Interligado Nacional (SIN) para regiões com alta demanda, sendo as regiões Sul e Sudeste em períodos de seca dos reservatórios (EPE, 2021).

Dado a dimensão da obra, o interesse do Governo Estadual se estende para atração de investimentos públicos e privados, bem como geração de emprego. Contudo, Fearnside e Laurence (2015) apontam justamente para os riscos envolvendo o superdimensionamento da obra, cuja extensão dos impactos ambientais e sociais são imprevisíveis. O receio se nutre pelo histórico de construção da UHE Belo Monte, que foi determinada pela corrupção e judicialização da obra. No todo, a UHE Bem Querer geraria menos eletricidade com uma área alagada maior que Belo Monte (EPE, 2021; FERR, 2021a).

A construção do Linhão de Tucuruí, que busca interligar Roraima ao SIN, se mostra como uma proposta pragmática com preferência do Governo Estadual, Eletronorte, Roraima Energia e o FERR. Além de atender a demanda do estado a partir da UHE Tucuruí (Pará), a solução mantém a centralização da distribuição de eletricidade pelas incumbentes (Eletronorte e Roraima Energia), que também podem se beneficiar da combinação Linhão de Tucuruí-UHE Bem Querer para vender eletricidade as outras regiões do país. A posição do FERR diz respeito a uma manobra pragmática para encontrar uma solução de médio prazo para o estado, já que as demais são vistas no horizonte por estar cercada de incertezas quanto a capacidade de atender a demanda da população (FERR, 2021a).

Por outro lado, as soluções enquadradas em tecnologias mais sustentáveis (solar, biomassa e PCHs) são preferidas justamente pelo FERR, seguido por Instituto Clima e Sociedade, Instituto Socioambiental, CIR e Hutukara Associação Yanomami. O FERR expressou sua preferência por meio da carta em defesa da manutenção de regras para Geração Distribuída (GD) de energia. Como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) defende a retirada dos incentivos que estimulam a geração por fontes renováveis, já que os custos são repassados para os consumidores fora da geração distribuída, o FERR alegou que a medida trará prejuízos para o estado, já que a GD estimula a mitigação da dependência das termelétricas, e que os custos dos subsídios da conta de consumo de combustível (CCC) são maiores que os da GD (FERR, 2020).

Complementarmente, o FERR contribuiu à Consulta Pública nº 47/2019, que visa a coleta de informações para o edital do Leilão de Eficiência Energética nº 4/2020-ANEEL, o qual busca contratar um agente para o desenvolvimento de ações de eficiência orientadas para redução do consumo de eletricidade (ANEEL, 2020). O Fórum apontou para a necessidade de substituição da geração termelétrica a diesel, demandando esforços para expansão da GD fotovoltaica na capital Boa Vista, como também a criação de um mecanismo de contabilização de energia a fim de que se possa criar um mercado livre de energia em Roraima (FERR, 2021a).

O Instituto Socioambiental e Instituto Clima e Sociedade convergiram para a decisão do FERR em questionar as iniciativas da ANEEL. Faz parte da atuação dessas organizações a consolidação de soluções descentralizadas, cujo fator de adaptação ao espaço amazônico é maior que os projetos infraestruturantes. A própria instalação de módulos solares em comunidades indígenas e ribeirinhas na Amazônia fortaleceu a aderência da Hutukara Associação Yanomami e o Conselho Indígena de Roraima (CIR) por soluções mais sustentáveis.

6. Considerações Finais

Este trabalho buscou responder de que maneira as redes de advocacy locais estão comprometidas com a transição energética amazônica. A hipótese adotada diz que as redes locais possuem uma tendência em adotar propostas pragmáticas, que são caracterizadas pela adoção de tecnologias renováveis sem romper bruscamente o regime vigente.

No caso do Fórum de Energias Renováveis de Roraima (FERR), evidenciou-se que existem atores que, mesmo parcialmente, cumprem funções enquadradas no Sistema Específico de Inovação Tecnológica (SEIT). É o caso do eixo desenvolvimento, difusão e orientação do conhecimento, formado pela UFRR, SENAI e Instituto Evaldo Lodi, cujos esforços se baseiam no desenvolvimento de projetos de P&D no âmbito solar fotovoltaico e eficiência energética. Além disso, tais organizações possuem capacidade de formar recursos humanos para a transição energética por meios dos cursos técnicos e superiores.

Visto que a força das redes de advocacy na Europa se concentrava principalmente na presença da indústria da energia renovável, é possível admitir que a grande fraqueza do FERR reside na ausência de empresas do mercado de fontes renováveis tanto no âmbito regional como nacional. No mais, observou-se que a participação de incumbentes, como a Roraima Energia e a Eletronorte, podem limitar o ritmo da transição energética em Roraima ao defender a manutenção das termelétricas a diesel e construção de hidrelétricas, desestimulando a inserção de tecnologias renováveis descentralizadas.

Isso é visível no posicionamento dos atores quanto as propostas de reforma da matriz elétrica roraimense. A preferência do FERR pela construção do Linhão de Tucuruí é acertada em razão da demanda por soluções de médio prazo. Contudo, a inclinação do FERR pelas tecnologias mais sustentáveis depende do fortalecimento do mercado regional. Por isso, recomenda-se estudos para avaliar o mercado de geração distribuída não só em Roraima, mas também na Amazônia. Além disso, o FERR deve buscar a inserção de empresas que fornecem ou comercializam tecnologias renováveis em seus quadros como forma de aumentar a força da organização.

Notadamente, o motor que dita o ritmo da transição energética é conformado pela integração entre mercado e Estado por meio das políticas públicas. Nesse sentido, a organização dos atores em redes de advocacy facilita a construção de diálogo e propriamente de políticas públicas em regiões historicamente marcadas pelo isolamento institucional e político.

Referências

- ARENT D. J.; ARNDT, M.; MILLER, M.; TARP, F.; ZINAMAN, O. *The political economy of clean energy transitions*. Oxford University Press, 2017.
- ANEEL. Plano anual de operação dos Sistemas Isolados. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2017801.pdf> Acesso em 22 de dez. 2020.
- ELLIOT, D. Renewable energy and sustainable futures, futures, vol. 32, pp. 261–274, 2000.
- EDQUIST, Charles; LUNDVALL, Bengt-Ake. Comparing the Danish and Swedish systems of innovation. *National innovation systems: A comparative analysis*, p. 265-298, 1993.

EPE. Hidrelétrica Bem Querer. 2018. Disponível em: <https://gisepeprd2.epe.gov.br/arcgisportal/apps/MapJournal/index.html?appid=255343dae17c4ee39a5b8cc9e4160f34> Acesso em: 12 jun. 2021.

_____. Resultado do Leilão para suprimentos a Boa Vista e localidades conectadas. 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-344/Resultado%20Leil%C3%A3o%20Roraima.pdf#search=Roraima> Acesso em 12 jun. 2021.

_____. Roraima: planejamento energético. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/roraima-planejamento-energetico> Acesso em: 12 jun. 2021.

ELETRONORTE. Participações Societárias. 2021. Disponível em: <https://www.eletronorte.gov.br/participacoes-societarias/> Acesso em: 12 jun. 2021.

FEARNSIDE, Philip Martin; LAURANCE, William Frederick. Infraestrutura na Amazônia: As lições dos planos plurianuais. *Caderno CRH*, v. 25, n. 64, p. 87-98, 2012.

FERR. Quem somos. Disponível em: <https://energiasroraima.com.br/quem-somos/> Acesso em: 12 jun. 2021.

_____. Contribuição do FERR à consulta pública ANEEL 047/2019. 2021a. Disponível em: <https://energiasroraima.com.br/contribuicao-do-forum-de-energias-renovaveis-de-roraima-a-consulta-publica-anneel-047-2019/> Acesso em: 12 jun. 2021

_____. Fórum defende manutenção de regras para geração distribuída. 2020. Disponível em: <https://energiasroraima.com.br/forum-defende-manutencao-de-regras-para-geracao-distribuida-de-energia/> Acesso em: 12 jun. 2021.

_____. Acordos de cooperação técnica entre FERR e UFRR vão ampliar conhecimentos sobre energia solar fotovoltaica no meio acadêmico. 2021b. Disponível em: <https://energiasroraima.com.br/acordos-de-cooperacao-tecnica-entre-forum-e-ufrr-vao-ampliar-conhecimentos-sobre-energia-solar-fotovoltaica-no-meio-academico/> Acesso em: 12 jun. 2021.

GOMEL, D.; ROGEE, K. S. Mere deployment of renewables or industry formation, too?

Exploring the role of advocacy communities for the Argentinean energy policy mix. 2020. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 36, 345–371. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.02.003>

GWEC. Annual Wind Report 2019. Disponível em: https://gwec.net/wp-content/uploads/2020/08/Annual-Wind-Report_2019_digital_final_2r.pdf Acesso em 12 jun. 2021.

HEKKERT, Marko P. et al. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. **Technological forecasting and social change**, v. 74, n. 4, p. 413-432, 2007

IEMA. **Excluídos elétricos na Amazônia: um novo caminho a percorrer**. 2019. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-permanentes/cme/apresentacoes-em-eventos/2019/26-11-2019-energia-renovavel-descentralizada-para-acabar-com-a-exclusao-eletrica/3-IEMA%20-%20Pedro%20Bara.pdf> Acesso em: 12 jun. 2021.

IBGE. Roraima – Cidades e estados. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rr/> Acesso em 12 jun. 2021.

JACOBSSON, S.; LAUBER, V. The politics and policy of energy system transformation—explaining the German diffusion of renewable energy technology. **Energy Policy**, Renewable Energy Policies in the European Union. v. 34, n. 3, p. 256–276, 1 fev. 2006.

KEMP, R.; SOETE, L. The greening of technological progress: An evolutionary perspective, *Futures*, Volume 24, Issue 5, June, pp. 437-457, 1992.

LINDBERG M.B.; MARKARD, J. ANDERSEN, A. D. Policies, actors and sustainability transition pathways: A study of the EU's energy policy mix, *Research Policy* vol. 48, 103668, 2019.

MUSIOLIK, Jörg; MARKARD, Jochen. Creating and shaping innovation systems: Formal networks in the innovation system for stationary fuel cells in Germany. **Energy Policy**, v. 39, n. 4, p. 1909-1922, 2011.

RORAIMA ENERGIA. Demonstrações Financeiras em 31 de dezembro 2019. Disponível em: https://www.roraimaenergia.com.br/wp-content/uploads/2020/08/695858-RORAIMA-ENERGIA-DFS-31-12-2019-_Roraima-1.pdf Acesso em: 12 jun. 2021.

- ROGGE, Karoline S.; REICHARDT, Kristin. Policy mixes for sustainability transitions: An extended concept and framework for analysis. **Research Policy**, v. 45, n. 8, p. 1620-1635, 2016.
- SUURS, R.; HEKKERT, M. Motors of Sustainable Innovation: Understanding Transitions from a technological innovation system's perspective. In VERBONG, G.; LOORBACH, D (Org.) Governing the Energy Transition: Reality, Illusion or Necessity? Edited by Routledge, New York and London, 2012.
- VERBONG, G.; LOORBACH, D. Introduction. In Governing the Energy Transition: Reality, Illusion or Necessity? VERBONG, G.; LOOBARCH, D. (Org.). Edited by Routledge, New York and London, 2012.

Mercado de carbono como instrumento de redução das emissões do setor petrolífero brasileiro: Evidências a partir do Brasil e do exterior

*Carbon Market as a reduction mechanism of the Brazilian Oil and Gas sector's emissions:
Evidence from Brazil and International experiences*

André Andriw Santos Da Silva¹

Lucas Mota De Lima²

Gustavo Castro Ribeiro³

Sumário: 1. Introdução. 2. Definindo o mercado de carbono. 3. Experiências internacionais. 4. Experiências brasileiras. 4.1 RenovaBio 4.2 Petrobras S.A. 5. Conclusão. Bibliografia.

Resumo: A institucionalização do mercado de carbono como mecanismo de redução das emissões tem movimentado a agenda internacional, já que as nações dependentes dos combustíveis precisam cada vez mais de alternativas para reduzir suas emissões, oferecendo uma janela de oportunidade para o Brasil atrair investimentos do setor de óleo e gás para preservação florestal através de um mercado de carbono. Esta pesquisa investiga quais casos podem contribuir para o debate da institucionalização do mercado brasileiro de carbono, de modo que ele possa ajudar a reduzir as emissões do setor petrolífero nacional. Argumenta-se que os agentes reguladores nacionais podem aprender com as interações do RenovaBio e as estratégias de ESG da Petrobras, British Petroleum (BP) e Equinor. Nesse sentido, o presente artigo tem por objetivo analisar casos de interação entre a indústria petrolífera e o mercado de carbono no cenário brasileiro e internacional. Para isso, utilizou-se uma revisão interdisciplinar da literatura sobre mercado de carbono e indústria de petróleo e gás, além de usar o método de estudo de caso para analisar os casos citados na hipótese. O estudo concluiu que os casos apresentados servem de base para a estruturação de um mercado brasileiro de carbono que possa potencializar a interação com a indústria petrolífera nacional, de modo a colocá-la como agente impulsionador do desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Descarbonização, Mercado de carbono, GEE, Petróleo e gás, Brasil.

Abstract: The institutionalization of the carbon market as a mechanism for reducing emissions has moved the international agenda, as fuel-dependent nations increasingly need alternatives to reduce their emissions, offering opportunities for Brazil to attract investments in the oil and gas sector and for forest preservation through a carbon market. This research investigates which cases can contribute to the debate on the institutionalization of the Brazilian carbon market so that it can help reduce emissions from the national oil sector. It is argued that national regulators can learn from the interactions of RenovaBio and the ESG strategies of Petrobras, British Petroleum, and Equinor. In this sense, this article aims to analyze cases of interaction between the oil industry and the carbon market in the Brazilian and international scenario. For this, an interdisciplinary review of the literature on the carbon market

¹ Mestrando em Relações Internacionais no PPGRI San Tiago Dantas (Unesp, Unicamp, PUC-SP).
E-mail: andreandriw1@gmail.com

² Engenheiro de Petróleo pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).
E-mail: mota.lucaslima@gmail.com

³ Doutorando em Energia na Universidade de São Paulo (USP).
E-mail: guscastroribeiro@usp.br

and the oil and gas industry was used. Furthermore, we made a multiple case study of the cases cited in the hypothesis. The study concluded that the cases presented serve as a basis for the structuring of a Brazilian carbon market that can enhance the interaction with the national oil industry, to place it as a driving agent for sustainable development.

Keywords: Decarbonization, Carbon Market, GHG, Oil & Gas, Brazil.

1. Introdução

Nenhum instrumento para mitigar as emissões de carbono tem sido tão debatido na mídia atualmente como o mercado de carbono. Considerado um dos principais mecanismos de mercado para reduzir as emissões dos gases de efeito estufa dos países, diversas arquiteturas institucionais foram adotadas na América do Norte e do Sul, Europa e Ásia para incentivar o intercâmbio de permissões para poluir (GUSMÃO et al., 2015).

A literatura evidencia que, por não existir uma arquitetura de mercado padronizada, o mercado de carbono demorou para se tornar uma solução mitigadora de emissões concreta tanto no âmbito nacional como internacional. Ainda existem lacunas jurídicas no que tange a configuração de contagem das emissões, bem como atrelar as metas do Acordo de Paris com as iniciativas de intercâmbio de gases poluentes através do mercado.

Um setor profundamente afetado por um mercado de carbono diz respeito à indústria de petróleo e gás, considerada como ator chave nas metas obrigatórias de redução no Acordo de Paris. Seja na Europa ou na América do Norte, cada vez mais as petroleiras têm utilizado o mercado de carbono para cumprir suas metas obrigatórias. Entretanto, no Brasil, este esforço ainda se encontra em estágio embrionário e com poucas interações entre o setor de óleo e gás e o mercado de carbono, já que ainda não há um mercado nacional de emissões institucionalizado.

Essa incipiente gera um receio da indústria quanto a confiabilidade do mercado de emissões em resolver os problemas. Há uma percepção de que a ativação desse mecanismo no país pode elevar os custos de produção e, consequentemente, serem repassados para o consumidor final. Pensando em criar uma massa crítica para mitigar essa percepção de risco no Brasil, este artigo questiona: Quais casos podem contribuir para o debate da institucionalização do mercado de carbono, de modo que ele possa ajudar na redução das emissões do setor petrolífero nacional? Argumenta-se que os agentes reguladores nacionais podem aprender com as interações do RenovaBio e as estratégias de ESG da Petrobras, British Petroleum (BP) e Equinor. Entende-se que esses casos evidenciam uma oportunidade para o desenvolvimento de um mercado brasileiro de carbono conjugado ao sistema produtivo do setor petrolífero.

Assim, o objetivo deste trabalho é analisar casos de interação entre a indústria de petróleo e gás com o mercado de carbono no Brasil e no exterior. Para isso, utilizou-se um ferramental metodológico fundamentado na revisão interdisciplinar da literatura sobre mercado de carbono. No mais, aplicou-se o método do estudo de caso para analisar três objetos de interação da indústria petrolífera com o mercado de carbono: 1) Brasil: RenovaBio e estratégias de ESG da Petrobras; 2) Exterior: Estratégia de ESG da BP e Equinor.

Os argumentos foram alocados em três seções. A primeira busca apresentar a definição de mercado de carbono e suas tecnologias. No segundo, tratou-se dos casos brasileiros, ao passo que no terceiro foram apresentados os exemplos extraídos do âmbito internacional. O balanço das discussões foi apresentado nas considerações finais.

2. Definindo o mercado de carbono

Embora bastante citado na grande mídia nos últimos anos, o mercado de carbono não é um instrumento novo. Com fundamentações técnicas que datam dos anos 1980, o mercado de carbono foi desenvolvido nos anos 1990 como um potencial mecanismo de redução das emissões de gases de efeito estufa através das práticas de mercado. São trocados no mercado o crédito de carbono, que consiste em um certificado eletrônico equivalente a uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) que deixou de ser emitido (SOUZA et al., 2012).

Dentro dos princípios estabelecidos no Protocolo de Quioto, em 1997, países desenvolvidos (Partes do Anexo I) possuem metas obrigatórias de redução das emissões de GEE. De outro modo, países em desenvolvimento (Partes do Anexo II) não possuem obrigatoriedades, podendo participar dos mecanismos de mercado de emissões como fornecedores de crédito de carbono, já que muitas nações possuem extensas florestas e biomas que podem receber investimentos dos Estados do Anexo I para financiar projetos de preservação (GUSMÃO et al., 2015).

Segundo Meneguin (2012), a relação de oferta e demanda do mercado de carbono regulado é caracterizada como *cap-and-trade* (limites e comércio), ou seja, uma autoridade governamental estabelece uma meta nacional de redução de GEE em setores carbonizados que, para ser atingida, necessita de mecanismos como o comércio de crédito de carbono. A dinâmica do mercado consiste, primeiramente, na presença de atores (empresas, governos, entes subnacionais) que conseguem diminuir suas emissões, obtendo créditos que podem ser ofertados no mercado financeiro como *commodities*.

Meneguin (2012) acrescenta que no lado da demanda, os agentes (empresas e governos) que não conseguem cumprir suas metas obrigatórias definidas no Acordo de Paris⁴, portanto, necessitam adquirir os créditos de carbono com o intuito de manter suas emissões ou ampliá-las. Conforme o autor, agentes que não conseguem cumprir suas metas, ou possuem intenção de aumentar a poluição, pagam por licenças e financiam outros agentes que possuem projetos de redução das emissões de GEE.

Gusmão et al. (2015) afirmam que além do sistema *cap-and-trade*, existe o Mercado Voluntário de Carbono (MVC), cujo arranjo institucional não segue um padrão estabelecido em acordo internacional como o Acordo de Paris. Neste caso, os agentes poluidores se comprometem voluntariamente em reduzir suas emissões através da aquisição de créditos de carbono e investimentos em tecnologia limpa, além de projetos sustentáveis. Essas ações também geram créditos de carbono dos quais passam por avaliação, contabilização e certificação por uma organização privada antes de serem emitidos.

Embora na teoria ambos os modelos de mercado pareçam uma solução estruturalmente viável, na prática têm-se evidenciado inúmeros desafios sobre a consolidação desse instrumento nas esferas internacional e nacional. Globalmente, no âmbito do painel específico sobre mercado de carbono do Banco Mundial, atualmente existem 64 sistemas de precificação, cobrindo aproximadamente 22% das emissões globais e, de acordo com Lund (2021a), 45% das emissões da Europa, condição ainda irrisória perante a elevação das emissões nos últimos anos.

As iniciativas com robustez são o European Union Emissions Trading Systems (EU ETS), da União Europeia, Western Climate Initiative, dos Estados Unidos e o Toquio-CaT, do Japão. Além disso, existe uma ampla lacuna jurídica no âmbito das negociações dentro do Acordo de Paris sobre o método e as instituições responsáveis pela contagem das emissões (BLOOMBERG, 2021).

No nível nacional não é diferente. Existe uma vasta dificuldade dos governos nacionais e subnacionais em organizarem um sistema complexo como o mercado de carbono visto as lacunas jurídicas e mercadológicas. Ademais, o medo da sociedade em retaliar a proposta de mercado de carbono

⁴ Com a adoção do Acordo de Paris absorveu as metas estabelecidas no Protocolo de Quioto. Neste caso, a estrutura legal referente ao mercado internacional de carbono foi alocada no Artigo 6 do Acordo.

em razão da passagem de eventuais custos da indústria em aderir ao programa de redução das emissões para o preço do produto ou serviço acaba desestimulando os formuladores de políticas públicas a arquitetarem um comércio nacional de emissões (GUSMÃO et al., 2015; BLOOMBERG, 2021).

Paralelamente, o Mercado Voluntário de Carbono (MVC) também apresenta inconsistências na prática. Kreibich e Hermwille (2021) argumentam que, após uma década de crescimento, tanto o volume como o valor de mercado do MVC têm caído constantemente desde a crise financeira global (2008-2009). Como exemplo, o maior MVC estruturado é o Aviation Carbon Offset, organizado pela Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA, em inglês), com o objetivo de reduzir as emissões das aeronaves de longa distância (AITA, 2022).

A virada em termos de expectativa de mercado ocorreu após as negociações da Conferência de Glasgow (COP26), onde os países reformularam o Artigo 6 do Acordo de Paris com o intuito de deixar as regras claras para estruturar o mercado global de carbono. Essa atitude elevou os ânimos dos atores no mercado internacional de carbono, refletindo uma alta de 386% nos preços dos créditos negociados no principal mercado, o EU ETS (apresentado na tabela 1), de acordo com a empresa de consultoria internacional Carbon Credits (2022).

Portanto, com a valorização, é perceptível que os modelos de mercado de carbono possuem capacidade de crescimento conforme a institucionalização do arcabouço legal internacional avança. O aprimoramento da arquitetura institucional desses mercados pode aumentar significativamente os investimentos em países em desenvolvimento, ao passo que se reduz as emissões dos principais países desenvolvidos.

Tabela 1 – Cotação do crédito de carbono

Carbon Market Price Data	Last	Change
Compliance Markets		
European Union (EU-ETS)	€ 91.32	- 1.82%
California	\$ 27.60	- 0.25%
Australia (AUD)	\$ 51.75	- 0.35%
New Zealand (NZD)	\$ 84.50	- 0.81%
South Korea	\$ 27.82	+0,29%
Voluntary Markets		
Aviation Industry Carbon Offset	\$ 7.43	3,02%
Nature Based Carbon Offset	\$14.89	0.47%

Fonte: Elaboração própria. Com base em Carbon Credits (2022)

Nota: Preços referentes ao dia 14/02/2022

3. Experiências internacionais

No âmbito internacional, as metas de empresas e organizações visando, sobretudo, uma transição energética gradual e eficiente, são debatidas e postas à realidade dos planos no curto prazo. Reunindo lideranças das principais *supermajors* do mundo, a Oil and Gas Climate Initiative (OGCI) atualizou suas metas a partir de soluções para um futuro de emissão zero, contando com a redução e remoção de dióxido de carbono e metano das operações. Segundo as novas metas da Iniciativa, há potencial para se alcançar uma economia de cerca de 50 milhões de toneladas de GEE por ano até 2025 (OGCI, 2021).

De acordo com McKansey & Company (2020), ao destacar intervenções mais econômicas, será possível reduzir boa parte das emissões a um custo médio inferior a US\$ 50 por tonelada de CO₂ equivalente ao longo dos próximos anos. Embora ainda seja um desafio que necessita de desenvolvimento de políticas e soluções inovadoras para se alinhar aos parâmetros traçados pelo Acordo de Paris, algumas ações têm destaque, como o tradicional European Union Emissions Trading System (EU-ETS).

Historicamente, algumas companhias de petróleo possuem notoriedade em ações em prol da redução das emissões e até debates acerca da adoção de programas de precificação de carbono. Em evidência, companhias com operações no Mar do Norte podem ser citadas como exemplos, como no caso da British Petroleum (BP), ao iniciar discussões sobre o tema de forma pioneira há mais de duas décadas.

Em 1998, foi anunciado publicamente que a empresa reduziria suas emissões em 10% até o ano de 2010, estabelecendo ainda um sistema interno de comércio de emissões entre diferentes unidades. Operada a partir de um dispositivo de gerenciamento, a meta foi alcançada em apenas três anos, em 2001, gerando, à época, cerca de US\$ 650 milhões para os novos acionistas (VICTOR e HOUSE, 2006).

Atualmente, a empresa britânica ainda se mantém como uma das líderes em projetos envolvendo as atividades de comércio e compensação de carbono na indústria, principalmente através de programas como BP Target Neutral e Global Environmental Products (GEP). A companhia detém atividades de precificação de carbono através de 17 sistemas de comércio em territórios como China, Nova Zelândia, Austrália, União Europeia, Estados Unidos e Canadá (BP, 2021a).

De modo complementar aos preços de carbono, dados disponíveis pela BP (2021b) apontam ainda outras áreas complementares para a redução das emissões, com foco na transição energética a partir de tecnologias CCUS e a expansão de fontes renováveis como hidrogênio e biocombustíveis, assim como os chamados sumidouros naturais de carbono a partir de projetos de silvicultura, como reflorestamento.

Como parte da estratégia *net-zero* da BP, a empresa pretende aumentar o investimento anual em iniciativas de baixo carbono em até 10 vezes até 2030 (LUND, 2021b). Uma das recentes aquisições da petroleira, reforçando seu compromisso com o mercado de carbono, foi a participação majoritária na maior empresa estadunidense de gestão florestal, a Finite Carbon, sediada na Pensilvânia com projetos de carbono distribuídos em mais de 3 milhões de acres de terra e com expectativa de geração de receita superior a US\$ 1 bilhão até 2030 (FORTUNE, 2020).

O programa CORE Carbon possui intenção de proteger áreas florestais e promover uma economia também aos pequenos proprietários, que são conectados no mercado de crédito através de empresas que desejam comprar compensações de carbono em hectares reflorestados. O lançamento do aplicativo digital, de acordo com o CEO da Finite Carbon, vai permitir que 1,2 milhão de proprietários de terras obtenham uma avaliação em tempo real de quanto a utilização de suas terras poderia gerar no mercado voluntário de carbono em alternativa ao comércio de madeira através do corte de árvores (BP, 2021a).

Já na Noruega, a parceria entre governo e empresa evidencia ainda um interesse conjunto nos negócios que envolvem a precificação de carbono como uma solução econômica e comprovada para combater as mudanças climáticas. No país, o exemplo já existe há 20 anos, com uma espécie de imposto compensatório sobre as emissões de carbono das atividades petrolíferas, e segundo o próprio CEO da Equinor, Eldar Saetre, um defensor da política de precificação, se mais governos atuarem na precificação do carbono, o setor de negócios também seguirá o movimento (EQUINOR, 2021a).

Recentemente, a empresa anunciou o objetivo de reduzir a intensidade de CO₂ na produção de petróleo e gás para menos de 8 kg por barril de óleo equivalente até 2025, a média global atual é de 18 kg por barril (EQUINOR, 2021b). Para atingir um nível de emissões líquidas zero, é fundamental que existam compensações nos sistemas de comércio de carbono.

Entre as ações imediatas, a companhia norueguesa tem destinado investimentos correspondentes e compensatórios na redução do desmatamento florestal, sobretudo em regiões que existem operações da empresa, porém ainda não há uma precificação de carbono local (EQUINOR, 2021b). Existem também outros projetos de descarbonização em curso, como o Dogger Bank, localizado no Reino Unido e que será, após a conclusão, o maior parque eólico *offshore* do mundo (EQUINOR, 2021c), assim como o planejamento de diversas tecnologias de emissões líquidas zero no cluster Humber até 2040, a maior região industrial britânica (EQUINOR, 2021d).

Iniciativas complementares como a intensificação do uso de fontes renováveis e o uso dos su-midouros naturais são importantes e podem contribuir com o mercado de precificação de carbono. O Brasil apresenta um grande potencial a partir de recursos renováveis como biocombustíveis, eólico e solar, tal como o uso sustentável da floresta amazônica e a possibilidade de um manejo do solo em outras regiões, e principalmente políticas públicas exitosas como o RenovaBio, reunindo uma série de oportunidades para se tornar uma referência ambiental global na busca de uma transição energética segura e sustentável.

4. Experiências brasileiras

4.1 RenovaBio

O RenovaBio é resultado da Lei n.º 13.576 de 2017, que inclui a Política de Biocombustíveis na Política Energética Nacional. A meta do programa, que surgiu para amparar o governo brasileiro diante do compromisso assumido na ratificação do Acordo de Paris, é reduzir a pegada de carbono na matriz energética brasileira através da promoção dos biocombustíveis, que possuem natureza renovável e emitem menos Gases do Efeito Estufa (GEEs) para cada unidade de energia gerada (ANP, 2020).

Para honrar este acordo, o Brasil se comprometeu a aumentar a participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, e reduzir em 37% as emissões de carbono até 2025, tendo por base resultados de 2005 (MME, 2021).

Este programa visa o aprimoramento das políticas e dos aspectos regulatórios dos biocombustíveis, a fim de contribuir para a superação dos desafios técnicos e econômicos a serem enfrentados pelo setor. Suas diretrizes baseiam-se em quatro eixos estratégicos: o papel dos biocombustíveis na matriz energética, o equilíbrio econômico e financeiro do mercado, a definição de regras de comercialização e os novos biocombustíveis (EPE, 2022).

O principal instrumento do RenovaBio é o estabelecimento de metas nacionais anuais de descarbonização para o setor de combustíveis, de forma a incentivar o aumento da produção e da participação de biocombustíveis na matriz energética de transportes do país.

Como instrumento dessa política brasileira, foi criado o CBIO, também conhecido como crédito de descarbonização ou crédito de carbono, equivalente a uma tonelada de CO₂ que deixa de ser emitida na atmosfera.

O CBIO é um ativo emitido por empresas produtoras ou importadoras de biocombustíveis e que permite às distribuidoras de combustíveis o cumprimento das metas individuais. Os produtores de biocombustíveis vendem seus CBIOs em bolsa. Posteriormente, os distribuidores de combustíveis (parte obrigada do RenovaBio) devem adquirir os CBIOs em pregão (CARRIZO, 2021).

Para que a produtora de biocombustíveis possa emitir o CBIO, ela deve ser certificada pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), processo que envolve a descrição e auditoria do ciclo produtivo do biocombustível (agrícola, industrial, transporte e uso) e sua intensidade de carbono. Segundo FGA (2021), com isso nasce uma Nota de Eficiência Energético-Ambiental, que expressa a diferença em termos de carbono-intensidade entre o biocombustível produzido (já acrescido do CO₂ utilizado na produção) e seu substituto. Para o cálculo da intensidade de carbono de cada biocombustível certificado será utilizada a RenovaCalc, ferramenta desenvolvida com base na metodologia de avaliação de ciclo de vida especificamente para esta finalidade, disponibilizada pela ANP. (RENOVABIO, 2018)

O usineiro que produzir maior quantidade de biocombustível com menor emissão de CO₂ receberá nota maior. As distribuidoras compram o Crédito de Descarbonização como meio para compensar as emissões de poluentes (FGA, 2021).

Cada distribuidora de combustíveis tem meta anual de descarbonização calculada pela ANP, com base na proporção de combustíveis fósseis que comercializam. Dessa forma elas utilizam o CBIO como recurso para abater a poluição adicional proveniente do consumo de combustíveis fósseis em detrimento de seus pares renováveis, uma vez que os últimos são muito mais econômicos em CO₂ equivalente, isto é, em emissão de CO₂ por kJ de energia gerada (FGA, 2021).

4.2 Petrobras S.A

Outro caso relevante sobre a interação da indústria brasileira de óleo e gás com o mercado de carbono voluntário diz respeito à participação da Petrobras S.A na constituição do Fundo Amazônia, mecanismo financeiro criado pelo Governo Federal em parceria com o Governo da Noruega e da Alemanha para financiar projetos de preservação da floresta amazônica.

Em 2011, a Petrobras realizou um investimento de US \$7 milhões no Fundo Amazônia, o que equivaleria a emissão de 842.071 toneladas de dióxido de carbono (PETRONOTÍCIAS, 2011). A atitude da empresa atendeu a exigência do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA) para desenvolver projetos voltados à compensação das emissões de CO₂ oriundas da produção de petróleo.

Após uma reestruturação da empresa, em virtude dos escândalos de corrupção, a Petrobras S.A viu na transição para uma economia de baixo carbono uma oportunidade de participar dos esforços sublinhados no Acordo de Paris, ao mesmo tempo que melhorar a imagem corporativa da organização através das políticas de Environmental, Social and Governance (ESG) (PETROBRAS, 2021).

Segundo o site institucional da Petrobras S.A (2021), a política de Mudanças Climáticas da empresa tem a ambição de atingir a neutralidade das emissões nas atividades desempenhadas, além de influenciar parceiros a cumprirem tal objetivo. Essa decisão atrela-se ao posicionamento mundial das 12 empresas membros da Oil and Gas Climate Initiative (OGCI), cuja Petrobras faz parte desde 2018.

Com metas estipuladas no Plano Estratégico 2022-2026, a Petrobras S.A (2021) visa reduzir as emissões operacionais de todos os seus ativos em 25% até 2030. Soma-se a isso a adoção da iniciativa Zero Routine Flaring by 2030 do Banco Mundial, sendo que a petroleira já possui um alto índice de aproveitamento médio de gás produzido, já que em 2019 atingiu-se 97% (PETROBRAS, 2021).

Complementarmente, a empresa utiliza a tecnologia de Carbon Capture, Usage and Storage (CCUS) por meio da reinjeção de CO₂ em campos, associada à recuperação avançada de petróleo. A petroleira projeta que até 2025 haja a reinjeção de cerca de 40 milhões de toneladas de CO₂. Destaca-se também as metas: a) reduzir em 40% a intensidade de metano no segmento de exploração e produção de O&G; b) reduzir em 30% na intensidade de carbono no refino até 2030 (PETROBRAS, 2021).

5. Considerações finais

Tendo como objetivo analisar os casos de interação entre empresas do setor de petróleo e gás com o mercado de carbono, este artigo mostrou que as iniciativas internacionais do mercado de carbono estão em constante evolução. Esse processo sublinha uma oportunidade para o Brasil ingressar no mercado global de carbono através da regulação flexível de uma iniciativa nacional a fim de aproveitar as modificações estruturais que ocorrem no mercado de emissões.

A interação do setor de petróleo e gás com o mercado de carbono é histórica, evidenciando uma janela de oportunidade para as multinacionais colaborarem com a transição energética e uma economia de baixo carbono. No exterior, tanto a Equinor como a BP desenvolveram estratégias para lidar com o mercado de carbono, além de desenvolverem iniciativas próprias de redução das emissões que geram créditos.

No Brasil, a política RenovaBio é a única iniciativa similar a um mercado de carbono no país, o que evidenciou a robustez das agências reguladoras em lidar com esse sistema de mercado complexo. De outro modo, a estratégia de ESG da Petrobras demonstrou que existe interesse da petroleira em participar da agenda para o desenvolvimento sustentável. Tal fato evidencia a necessidade urgente de regular o mercado de carbono no Brasil a fim de que os atores cobertos por ele possam usufruir dos benefícios sintetizados nos projetos sustentáveis.

Referências

- BLOOMBERG. **COP26 Finally Set Rules on Carbon Markets. What Does It mean?** 2021. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-11-13/cop26-finally-set-rules-on-carbon-markets-what-does-it-mean>> Acesso em: 14 de fev. 2022.
- BP. **Carbon Offset.** Disponível em: <<https://www.bp.com/en/global/bp-trading-and-shipping/what-we-do/l-low-carbon-trading/carbon-offset.html>>.
- BP. **Low carbon trading.** Disponível em: <<https://www.bp.com/en/global/bp-trading-and-shipping/what-we-do/l-low-carbon-trading.html>>.
- CARBON CREDITS. **Carbon Prices.** 2022. Disponível em: <<https://carboncredits.com/carbon-prices-today/>> Acesso em: 14 de fev. 2022.
- EQUINOR. **Equinor sets ambition to reduce net carbon intensity by at least 50% by 2050.** Disponível em: <<https://www.equinor.com/en/news/2020-02-06-climate-roadmap.html>>.
- EQUINOR. **Equinor is ready to invest in tropical forest protection.** Disponível em: <<https://www.equinor.com/en/news/conf.html>>.
- EQUINOR. **Dogger Bank Wind Farm announces “Net Zero Carbon” operations and maintenance base.** Disponível em: <[https://www.equinor.com/en/where-we-are/united-kingdom/dogger-bank-wind-farm-announces-netzero-carbon-operations-and-maintenance-base.html](https://www.equinor.com/en/where-we-are/united-kingdom/dogger-bank-wind-farm-announces-net-zero-carbon-operations-and-maintenance-base.html)>.
- EQUINOR. **Zero Carbon Humber Campaign Launched To Develop The World’s First Zero Carbon Economy And Decarbonise The North Of England.** Disponível em: <<https://www.equinor.com/en/where-we-are/united-kingdom/zero-carbon-humber-campaign-launch.html>>.
- FORTUNE. **BP bets big on carbon credits in latest acquisition.** Disponível em: <[https://fortune.com/2020/12/16/bp-oil-forest-carbon-credits-netzero/](https://fortune.com/2020/12/16/bp-oil-forest-carbon-credits-net-zero/)>.
- GUSMÃO, F.; CARLONI, F.; WILLS, W.; NETTO, M. Estudos sobre Mercado de Carbono no Brasil: Análise da Alocação de Permissões. Banco Interamericano de Desenvolvimento, 2015, 310 p.
- IATA. Aviation Carbon Exchange. Disponível em: <<https://www.iata.org/en/programs/environment/ace/>> Acesso em: 14 de fev. 2022
- KREIBICH, N.; HERMWILLE, L. Caught in between: credibility and feasibility of the voluntary carbon market post-2020. **Climate Policy**, v. 21, n. 7, p. 939-957, 2021.

LUND. **Why carbon pricing matters.** Disponível em: <<https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/speeches/why-carbon-pricing-matters.html>>.

LUND. **Why does bp support carbon pricing?** Disponível em: <<https://www.bp.com/en/global/corporate/news-and-insights/reimagining-energy/five-reasons-why-carbon-pricing-is-important.html>>.

MCKINSEY & COMPANY. **The future is now: How oil and gas companies can decarbonize.** Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/industries/oil-and-gas/our-insights/the-future-is-now-how-oil-and-gas-companies-can-decarbonize>>.

MENEGUIN, F. B. O que é o mercado de carbono e como ele opera no Brasil. **Brasil economia e governo**, v. 28, 2012.

OGCI. **Leadership to accelerate the energy transition – OGCI releases its strategy.** Disponível em: <<https://www.ogci.com/leadership-to-accelerate-the-energy-transition-ogci-releases-its-strategy>>.

PETROBRAS. **ESG: MEIO AMBIENTE, SOCIAL E GOVERNANÇA.** Disponível em: <<https://www.investidorpetrobras.com.br/esg-meio-ambiente-social-e-governanca/meio-ambiente>>.

PETRONOTÍCIAS. **PETROBRÁS SERÁ A PRIMEIRA INSTITUIÇÃO BRASILEIRA A INVESTIR NO FUNDO AMAZÔNIA.** Disponível em: <<https://petronoticias.com.br/petrobras-sera-a-primeira-instituicao-brasileira-a-investir-no-fundo-amazonia>>.

SOUZA, A.; PAIVA, D.; ANDRADE, J.; JUNIOR, A. mercado internacional de créditos de carbono: Estudo comparativo entre as vertentes regulada e voluntária no Brasil no período de 2004 a 2011. **Sistemas & Gestão**, v. 7, n. 4, p. 526-544, 2012.

VICTOR, D. G.; HOUSE, J. C. BP's emissions trading system. **Energy Policy**, v. 34, n. 15, p. 2100–2112, 2006.

Desenvolvimento de BECCS no Brasil: proposta de política econômica a partir de experiências internacionais

BECCS development in Brazil: economic policy proposal based on international experience

Brenda Honório Mazzeu Silveira¹

Hirdan Katarina De Medeiros Costa²

Edmilson Moutinho Dos Santos³

Sumário: 1. Introdução. 2. Abordagens e políticas econômicas adotadas como forma de solucionar as barreiras à implementação de BECCS. 3. Barreiras enfrentadas por BECCS no Brasil. 4. Lições a serem aprendidas. 5. Conclusão. Bibliografia.

Resumo: Para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e combater os efeitos das mudanças climáticas, é indispensável o desenvolvimento de BECCS, em especial à medida que à medida que metas mais restritivas se tornam necessárias. Nesse contexto, devido a sua madura indústria de biocombustíveis, o Brasil apresenta potencial de implementação dessa tecnologia. Com o objetivo de desenvolver BECCS, a experiência internacional apresenta importantes exames de políticas públicas, com pontos de convergência. Dessa forma, este artigo realiza uma revisão bibliográfica busca analisar essa experiência a fim de direcionar a criação de uma estratégia para o Brasil. Nesses documentos, três principais barreiras foram identificadas: questões técnicas, regulatórias e econômicas relacionadas ao custo de implementação desses projetos. As barreiras técnicas envolvem a certeza da contabilização das emissões, as regulatórias abarcam aspectos relativos à construção de regras que gerem incentivos aos agentes e as econômicas se relacionam à criação de escala. Dessa forma, o Brasil pode aprender com a experiência internacional a necessidade de definir arcabouços regulatórios para a operação da tecnologia no país. Além disso, embora os recentes incentivos à indústria de biocombustíveis – com a criação do RenovaBio – possam estimular também a implementação de BECCS, vale argumentar a favor da adoção de políticas explicitamente focadas em BECCS, a exemplo da Suécia.

Palavras-chave: BECCS; política econômica; Brasil; experiência internacional.

Abstract: To mitigate greenhouse gas (GHG) emissions and combat the effects of climate change, the development of BECCS is essential, especially as more restrictive targets become necessary. In this context, due to its mature biofuels industry, Brazil has the potential to implement this technology. With the objective of developing BECCS, the international experience presents important examinations of public policies, with points of convergence. Thus, this article carries out a bibliographic review and seeks to analyze this experience in order to guide the creation of a strategy for Brazil. In these documents, three main barriers were identified: technical, regulatory and economic issues related to the cost of implementing these projects. The technical barriers involve the certainty of the accounting of emissions, the regulatory covers aspects related to the construction of rules that generate incentives to the agents and the economic ones are related to the creation of scale. In this context, Brazil can learn from international experience the need to define regulatory frameworks for the operation of technology in the country. Furthermore, although recent

¹ Mestranda, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, brendasilveira@usp.br

² Pós-Doutora, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, hirdan@usp.br

³ Pós-Doutora, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, edsantos@iee.usp.br

incentives for the biofuels industry – with the creation of RenovaBio – may also stimulate the implementation of BECCS, it is worth arguing in favor of adopting policies explicitly focused on BECCS, as in Sweden.

Keywords: BECCS; economic policy; Brazil; international experiences.

1. Introdução

No âmbito das mudanças climáticas, BECCS (bioenergy with carbon capture and storage) se destaca pela sua capacidade de promover emissões negativas (CONSOLI, 2019; IEA, 2017). Essa tecnologia captura o gás carbônico emitido em plantas de bioenergia, o transporta e o armazena em formações geológicas adequadas (RICCI, 2012). Em virtude da presença da indústria de etanol no Brasil, de sua maturidade e produção em larga escala, existe um potencial de implementação de BECCS no país (KETZER et al., 2016).

Apesar de sua destaca relevância para a mitigação de gases de efeito estufa (GEE), BECCS não tem se desenvolvido de forma efetiva (ABDULLA et al., 2021). A importância da atuação governamental para garantir esse avanço tem feito com que países adotem diversas abordagens, com a aplicação de políticas econômicas que variam desde a atuação direta – com subsídios explicitamente voltados à BECCS –, até a criação de incentivos mais gerais – como o mercado de carbono (BEL-LAMY et al., 2021; SCHENUIT et al., 2021). Embora os mecanismos variem, o fator comum entre os estudos acerca do avanço de BECCS é a importância da atuação governamental (RICCI, 2012).

Dessa forma, e tendo em vista o potencial de desenvolvimento de BECCS no Brasil – devido, principalmente, à indústria de biocombustíveis no país – o presente estudo busca avaliar qual a abordagem econômica mais apropriada ao país, com base em experiências internacionais. O método utilizado é o analítico e qualitativo, com base em revisão bibliográfica, além de participação em reuniões do Subcomitê ProBioCCS, e acompanhamento de webinares nacionais e internacionais.

Tendo em vista o objetivo deste artigo, além desta introdução, são apresentadas 4 seções, totalizando 5. Na seção 2, são apresentadas as políticas adotadas como maneira de enfrentar as barreiras de implementação a BECCS em outros países. Na seção 3, são destacadas as principais barreiras à implementação de BECCS no Brasil, conforme revisão bibliográfica. Na seção 4 são discutidas quais lições podem ser aprendidas a partir do conteúdo exposto nas seções anteriores. Por fim, a seção 5 expõe as conclusões deste artigo.

2. Abordagens e políticas econômicas adotadas como forma de solucionar as barreiras à implementação de BECCS

Através da revisão bibliográfica, foi possível verificar experiências em outros países relativamente à implementação de projetos de BECCS. Os países mais citados nessas referências foram: Suécia, Noruega, Reino Unido e Alemanha.

Nesses documentos, três principais barreiras foram identificadas: questões técnicas, regulatórias e econômicas relacionadas ao custo de implementação desses projetos. As barreiras técnicas envolvem a certeza da contabilização das emissões, as regulatórias abarcam aspectos relativos à construção de regras que gerem incentivos aos agentes e as econômicas se relacionam à criação de escala (SILVEIRA; COSTA; SANTOS, 2021).

Abordagens de políticas econômicas como forma de solucionar essas barreiras são encontradas em exemplos onde a discussão evoluiu significativamente a partir da determinação, ou adesão à definição internacional, de emissões negativas (SCHENUIT et al., 2021). Em Ricci (2012), verifica-se que a experiência vigente aponta a importância de construir e definir políticas explicitamente focadas em BECCS, por exemplo, subsídio direto e construção de fundos.

Nessa linha, é possível destacar o fundo de investimento para projetos de RDD&D relacionados a BECCS na Suécia, denominado Industrial Leap Scheme Industriklivet (SCHENUIT et al., 2021). Todavia, visando alcançar ganhos de escala, IEA (2012, 2017) ressalta que os recursos devem ser direcionados aos setores com custos mais baixos de implementação de BECCS, a exemplo da indústria de cimento da Noruega.

Além disso, a importância em se alcançar relevantes ganhos de escala está no reconhecido alto custo da tecnologia, que é um dos principais impeditivos ao seu desenvolvimento (BUDINIS et al., 2018). Nesse sentido, uma forma de reduzir os custos, principalmente na etapa de transporte, é o uso de tecnologias de modelagem e construção de cenários, conforme feito para a Suécia em Jagu e Massol (2020).

Tendo em conta a rentabilidade dos projetos de BECCS no longo prazo, embarcando questões regulatórias e econômicas, Lyu, Shi e Wang (2020) ressalvam a necessidade dos mercados de carbono e do controle da volatilidade do preço do carbono nesses mercados. Chiu et al. (2015) abordam essa questão e apresentam o exemplo do Reino Unido, onde foi adotado um piso para o preço do carbono, a fim de promover previsibilidade aos investimentos.

Abordagens regulatórias dizem respeito à construção de um arcabouço que estabeleça as regras para a implementação e funcionamento da tecnologia no país, abrangendo questões como responsabilidade de longo prazo e a definição do direito de propriedade do CO₂ (COSTA; MUSARRA, 2020; MUSARRA; CUPERTINO; COSTA, 2019).

3. Barreiras enfrentadas por BECCS no Brasil

No contexto brasileiro, as preocupações mais pronunciadas dizem respeito a barreiras dos estágios inciais ao desenvolvimento de BECCS, como por exemplo, a definição do arcabouço regulatório e a ausência de projetos-pilotos. Além disso, embora ainda incipiente, a literatura avança no diagnóstico de barreiras econômicas para a implementação de BECCS no país (SILVEIRA; COSTA; SANTOS, 2021).

Romeiro-Conturbia (2014) e Musarra e Costa (2018) apontam a falta de uma legislação clara como o maior obstáculo para o desenvolvimento de BECCS no Brasil, e também de CCS como um todo. Em resposta a essa questão, Romeiro-Conturba (2014) desenvolve propostas direcionadas para o estabelecimento de uma autoridade regulatória, nomeado Comitê Regulatório Nacional para CCS (CCS Regulatory National Committee), o qual seria responsável por estabelecer “as regras do jogo” para todas as etapas da tecnologia, isto é, captura, transporte e armazenamento.

Os estudos que avaliaram aspectos econômicos da implementação de BECCS no Brasil apontam que os custos de investimento e operação de potenciais projetos localizados na região sudeste do país são similares aos encontrados na literatura internacional (MOREIRA et al., 2016; ROCKETT, 2010). Moreira et al. (2016), por exemplo, avaliam o potencial de aproveitamento de BECCS em plantas de bioenergia a partir da cana de açúcar – como etanol e termelétricas a biomassa – com armazenamento no Aquífero Guarani, no Estado de São Paulo. O resultado encontrado demonstra que a implementação da tecnologia de captura de carbono a partir dos usos da cana de açúcar na região escolhida teria um custo de US\$ 27,20/tCO₂ (MOREIRA et al., 2016, p. 59).

Em contrapartida, os custos aumentam de forma significativa a medida que as fontes emissoras se distanciam do sudeste do país. Nesse sentido, Rochedo et al. (2016) enfatiza a alta variância entre os custos de captura nas destilarias de etanol, resultado dos custos de transporte devido à dispersão geográfica dessas empresas. Mais detalhadamente, os custos variam de US\$ 28/tCO₂ a US\$ 50/tCO₂, de modo que cresce à medida que a distância em relação aos campos de petróleo aumenta – potencial local de armazenamento (ROCHEDO et al., 2016, p. 289).

Na mesma linha, Silva et al. (2018) avaliaram três diferentes infraestruturas para captura de CO₂ a partir de destilarias de etanol para armazenamento do gás carbônico na Bacia de Campos. Os autores concluem que a construção de 8 hubs – distribuídos conforme a localização das plantas –, seguido do escoamento por gasoduto de cada hub até a Bacia de Campos é a opção de menor custo. Além disso, a opção de transporte rodoviário do CO₂ das destilarias até um único hub localizado no estado de São Paulo, seguido pelo escoamento por gasoduto até a Bacia de Campos se mostrou mais vantajosa que o cenário em que o transporte se dá por gasoduto de cada destilaria até um único hub no estado de São Paulo, e suseguinte escoamento por gasoduto até a Bacia de Campos (SILVA et al., 2018).

Esse resultado pode ser explicado pela necessidade de investimento de longos gasodutos, ainda inexistentes no Brasil, para que este último cenário se estabeleça (SILVA et al., 2018). Ainda, a preponderância do transporte rodoviário no Brasil, de fácil acesso às destilarias e com empresas atuantes com larga experiência, auxilia na redução do custo de uso desse modal (SILVA et al., 2018). Todavia, a dependência do modal rodoviário para transporte do CO₂ pode comprometer o potencial de emissões negativas de BECCS (BABIN; VANEECKHAUTE; ILIUTA, 2021). O uso de combustíveis renováveis podem auxiliar a reduzir as emissões do modal rodoviário, mas o transporte via dutos ainda é preferível (BABIN; VANEECKHAUTE; ILIUTA, 2021).

Ademais, a literatura aponta para a questão de a lucratividade de BECCS e CCS estar intimamente relacionada a projetos de Enhanced Oil Recovery (EOR) no Brasil, em que o carbono capturado é utilizado para a recuperação avançada de petróleo (ROCKETT, 2010). Todos os projetos de CCS implementados no Brasil e que alcançaram sucesso técnico e econômico a nível comercial até o momento estiveram atrelados à prática de EOR, nomeadamente, no campo Buracica (ROSA; MACHADO, 2017) e na Bacia de Santos (IOGP, 2020).

4. Lições a serem aprendidas

A partir da bibliografia analisada, a adoção de metas mais restritivas para mitigação de emissões de GEE, em especial metas de emissões negativas, se mostra como importante estratégia inicial para o avanço de BECCS no Brasil. Essa orientação segue o exemplo de Suécia, Noruega, Reino Unido e Alemanha, onde políticas focadas em BECCS avançaram a partir da adoção de metas negativas (FRIDAHL, 2018).

Tendo em vista a avançada indústria de biocombustíveis do país, o estímulo a implementação de BECCS nesse setor vai de encontro a uma relevante estratégia apontada pela literatura: adoção da tecnologia em indústrias que apresentam custos mais baixos a fim de gerar ganhos de escala (KETZER et al., 2016; ZUCATELLI et al., 2019). Além disso, visto que a infraestrutura de transporte brasileira é majoritariamente rodoviária, estimular a indústria de biocombustível e BECCS, pode auxiliar a descarbonizar o setor de transporte no país, o que parte dos compromissos do Brasil no âmbito do Acordo de Paris (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2017; SILVEIRA; COSTA; SANTOS, 2021).

Nesse contexto, a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), em vigor desde 2017, representa um avanço na legislação brasileira, uma vez que, seguindo o objetivo de aumentar a participação de biocombustíveis na matriz energética do Brasil, aplica um crédito de 20% à Nota de Eficiência Energético-Ambiental do produtor cujo biocombustível apresenta emissões negativas ao longo do seu ciclo de vida (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2017). Uma forma de alcançar esse crédito de 20% é através da implementação de um projeto de CCS associado à produção do biocombustível, isto é, por meio do desenvolvimento de um projeto de BECCS.

O Brasil se mostra avançado também no quesito de contabilidade das emissões ao longo do ciclo de vida dos produtos, a exemplo dos biocombustíveis. Isto é, para efetivar a aplicação do crédito

de 20% para biocombustíveis com emissões negativas, o RenovaBio dispõe da metodologia Renova-CalcMD, na qual são levados em consideração o processo de mudança do uso da terra, de forma que não são aceitos aqueles biocombustíveis produzidos em área nativa ou de proteção ambiental – tanto no Brasil quanto no exterior – e distribuição do produto (MATSUURA et al., 2018).

Apesar desse reforço, ainda não são encontrados projetos de BECCS no Brasil. Em vista das experiências internacionais, é possível considerar a adoção de políticas explicitamente focadas em BECCS, como a doação de subsídios e criação de fundos de investimentos, seguindo o exemplo da Suécia. Ainda, faz-se necessário maior engajamento acadêmico e científico na pesquisa para desenvolvimento de BECCS no Brasil, seguindo as experiências relatadas por Bellamy et al. (2021) e Fridahl et al. (2020) para Reino Unido e Suécia.

5. Conclusão

Para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e combater os efeitos das mudanças climáticas, é indispensável o desenvolvimento de BECCS, em especial à medida que à medida que metas mais restritivas se tornam necessárias. Nesse contexto, devido a sua madura indústria de biocombustíveis, o Brasil apresenta potencial de implementação dessa tecnologia.

Com o objetivo de promover BECCS, países implementaram estratégias diversas e a partir de revisão da bibliografia este trabalho busca analisar essa experiência a fim de direcionar a criação de uma estratégia para o Brasil. Como resultado, destacaram-se Reino Unido e Suécia, cujas estratégias abarcaram questões técnicas, regulatórias e econômicas. No quesito técnico, vale construir mecanismos de garantir a contabilidade adequada das emissões de GEE ao longo do ciclo de vida de BECCS. As abordagens regulatórias e econômicas, dizem respeito à definição arcabouço legal e incentivos.

Dessa forma, o Brasil pode aprender com a experiência internacional a necessidade de definir arcabouços regulatórios para a operação da tecnologia no país. Além disso, embora os recentes incentivos à indústria de biocombustíveis possam estimular também a implementação de BECCS, vale argumentar a favor da adoção de políticas explicitamente focadas em BECCS, a exemplo da Suécia.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Bibliografia

- ABDULLA, A. et al. Explaining successful and failed investments in U.S. carbon capture and storage using empirical and expert assessments. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 1, 2021.
- BABIN, A.; VANEECKHAUTE, C.; ILIUTA, M. C. Potential and challenges of bioenergy with carbon capture and storage as a carbon-negative energy source: A review. **Biomass and Bioenergy**, v. 146, n. December 2020, 2021.

- BELLAMY, R. et al. Incentivising bioenergy with carbon capture and storage (BECCS) responsibly: Comparing stakeholder policy preferences in the United Kingdom and Sweden. **Environmental Science and Policy**, v. 116, n. April 2020, p. 47–55, 2021.
- BUDINIS, S. et al. An assessment of CCS costs, barriers and potential. **Energy Strategy Reviews**, v. 22, n. January, p. 61–81, 2018.
- CHIU, F. P. et al. The energy price equivalence of carbon taxes and emissions trading—Theory and evidence. **Applied Energy**, v. 160, p. 164–171, 2015.
- CONSOLI, C. Bioenergy and Carbon Capture and Storage. Global CCS Institute publications. **Global CCS Institute**, p. 1–14, 2019.
- COSTA, H. K. DE M.; MUSARRA, R. M. L. M. Law Sources and CCS (Carbon Capture and Storage) Regulation in Brazil. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 7, n. 2, p. 195–201, 2020.
- FRIDAH, M. **Bioenergy with carbon capture and storage - From global potentials to domestic realities**. [s.l.: s.n.].
- FRIDAH, M. et al. Mapping Multi-Level Policy Incentives for Bioenergy With Carbon Capture and Storage in Sweden. **Frontiers in Climate**, v. 2, n. December, 2020.
- IEA. A policy strategy for carbon capture and storage. **OECD/IEA**, p. 52, 2012.
- IEA. Five keys to unlock CCS investment. p. 20, 2017.
- IOGP. Global CCUS projects. **International Association of Oil and Gas**, 2020.
- JAGU, E.; MASSOL, O. Building Infrastructures for fossil- and bio-energy with carbon capture and storage. In **Les Cahiers de L'économie. IFP School**, v. 83, n. 1, p. 79–79, 2020.
- KETZER, J. M. M. et al. **Atlas brasileiro de captura e armazenamento geológico de CO₂**. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2016.
- LYU, X.; SHI, A.; WANG, X. Research on the impact of carbon emission trading system on low-carbon technology innovation. **Carbon Management**, v. 11, n. 2, p. 183–193, 2020.
- MATSUURA, M. I. S. F. et al. **RenovaCalcMD: Método e ferramenta para a contabilidade da Intensidade de Carbono de Biocombustíveis no Programa RenovaBio**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/images/Consultas_publicas/2018/n10/CP10-2018_Nota-Tecnica-Renova-Calc.pdf (in Portuguese) (accessed November 30, 2019)>.
- MOREIRA, J. R. et al. BECCS potential in Brazil: Achieving negative emissions in ethanol and electricity production based on sugar cane bagasse and other residues. **Applied Energy**, v. 179, p. 55–63, 2016.
- MUSARRA, R.; CUPERTINO, S. A.; COSTA, H. K. DE M. Liability in Civil and Environmental Subjects for Carbon Capture and Storage (CCS) Activities in Brazil. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 7, n. 10, p. 501–524, 2019.
- MUSARRA, R. M. L. M.; COSTA, H. K. DE M. Elements Of Public Action And Governance In Capture, Stocking And Carbon Transportation Activities. v. 7, n. 11, p. 46–53, 2018.
- PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Lei No 13.576, de 26 de Dezembro de 2017. **Secretaria Geral**, 2017.
- RICCI, O. Providing adequate economic incentives for bioenergies with CO₂ capture and geological storage. **Energy Policy**, v. 44, p. 362–373, 2012.
- ROCHEDO, P. R. R. et al. Carbon capture potential and costs in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 131, p. 280–295, 2016.
- ROCKETT, G. C. **Associação de fontes emissoras e reservatórios potenciais para armazenamento geológico de CO₂ na Bacia de Campos, Brasil**. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2010.
- ROMEIRO-CONTURBIA, V. R. D. S. Carbon Capture and Storage Legal and Regulatory Framework in Developing Countries: Proposals for Brazil. 2014.

ROSA, A. J.; MACHADO, M. V. B. Panorama Da Aplicação De Métodos De Recuperação Melhorada No Brasil E No Mundo. **Petrobras**, 2017.

SCHENUIT, F. et al. Carbon Dioxide Removal Policy in the Making: Assessing Developments in 9 OECD Cases. **Policy and Practice Reviews**, v. 3, n. March, p. 1–22, 2021.

SILVA, F. T. F. DA et al. CO₂ capture in ethanol distilleries in Brazil: Designing the optimum carbon transportation network by integrating hubs, pipelines and trucks. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 71, n. February, p. 168–183, 2018.

SILVEIRA, B. H. M.; COSTA, H. K. DE M.; SANTOS, E. M. DOS. Análise do CBio como passo inicial ao desenvolvimento de BECCS no Brasil. **Paper presented in III SICAM (Simpósio Interdisciplinar de Ciência Ambiental)**, p. 1–13, no prelo, 2021.

ZUCATELLI, P. J. et al. The application, required investments and operational costs of geological CO₂ sequestration: a case study. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 6, 2019.

Eficiência energética em sistemas motrizes e as novas tecnologias no contexto da transição energética

Energy efficiency in drive systems and new technologies in the context of the energy transition

Danilo Ferreira De Souza^{1,2}

Ildo Luis Sauer²

Hédio Tatizawa²

Sumário: 1. Introdução. 2. Novas tecnologias motrizes para a transição energética. 3. O VEV como elemento para o acionamento inteligente. 4. Conclusões. Referências.

Resumo: O setor de energia em geral impacta significativamente o meio ambiente. Aproximadamente 70% do uso final de energia elétrica no setor industrial está em motores elétricos. No caso da indústria brasileira , o consumo de energia elétrica em motores elétricos representa 68%. Com o objetivo de avançar na eficiência de equipamentos elétricos, foram definidos o padrão mínimo, intitulado como *Minimum Energy Performance Standard* (MEPS), e as etiquetas, que são vistos como uma das principais formas de apoiar a eficiência energética diretamente no nível do produto. Utilizar MEPS e etiquetas é um modo de apoiar a escolha racional do consumidor e superar as barreiras de informações. Em motores elétricos, as MEPS são baseadas em classes de eficiência, possibilitando diferentes níveis, que aumentam conforme os avanços tecnológicos e a aceitação do mercado. A norma define classes de eficiência IE1 a IE4, nas quais IE1 é a menos eficiente e IE4 é a classe de maior eficiência. De forma similar, nos Estados Unidos as classes de eficiência IE1 a IE4 são denominadas por *Standard, High Efficiency, Premium Efficiency* e *Super-Premium Efficiency*, conforme a *National Electrical Manufacturers Association*. A nova classe IE5 ainda não foi definida em detalhes, mas está prevista para produtos potenciais em uma edição futura da norma. Para os motores IE5 denominados *Ultra-Premium Efficiency* a meta é reduzir as perdas em cerca de 20% em relação à classe IE4. A concepção dos motores classe IE4 ainda é possível fazer com a tecnologia tradicional - Motores de Indução Trifásicos com Rotor em Gaiola de Esquilo (MITRGE), com a utilização de mais cobre nos enrolamentos, emprego de chapas de material ferromagnético de melhor qualidade, pela otimização dos projetos elétricos, magnéticos e mecânicos. Entretanto, é mais fácil elevar a eficiência com aplicação de novas tecnologias, como Motores Síncronos de Imã Permanente (MSIP) e Motores Síncronos de Relutância (MSREL, também conhecidos como SynRM), que permitem que os motores excedam os limites de eficiência IE4 e IE5. Essas duas tecnologias são comercialmente novas e fundamentais para a redução das emissões de gases de efeito, propiciando assim a redução do impacto de sistemas motrizes (as cargas predominantes no sistema elétrico), facilitando os caminhos para transição energética para uma matriz de baixo carbono, atuando na eficientização dos usos finais de energia elétrica.

Palavras-chave: Motor de indução. Eficiência energética. Transição energética. Indústria 4.0. Acionamento Inteligente.

1 Faculty of Architecture, Engineering and Technology – FAET, Campus Cuiabá, Federal University of Mato Grosso – UFMT, Cuiabá 78060-900, Brazil; danilo.souza@ufmt.br

2 Institute of Energy and Environment – IEE, University of São Paulo – USP, São Paulo 05508-010, Brazil, illsauer@iee.usp.br (I.L.S.); hedio@iee.usp.br (H.T.)

Abstract: The energy sector in general significantly impacts the environment. Approximately 70% of the final use of electric energy in the industrial sector is in electric motors. In the case of the Brazilian industry, the consumption of electric energy in electric motors represents 68%. In order to advance the efficiency of electrical equipment, the minimum standard entitled the Minimum Energy Performance Standard (MEPS) and labels were defined, which are seen as one of the main ways to support energy efficiency directly at the product level. Using MEPS and labels is a way to support rational consumer choice and overcome information barriers. In the case of electric motors, MEPS are based on efficiency classes, allowing different levels, which increase according to technological advances and market acceptance. The standard defines efficiency classes IE1 to IE4, where IE1 is the least efficient, IE4 is the highest efficiency class. Similarly, in the United States, efficiency classes IE1 to IE4 are called Standard, High Efficiency, Premium Efficiency, and Super-Premium Efficiency, according to the National Electrical Manufacturers Association. The new IE5 class has not yet been defined in detail but is planned for potential products in a future edition of the standard. For IE5 motors called Ultra-Premium Efficiency, the goal is to reduce losses by about 20% about the IE4 class. The design of class IE4 motors is still possible with the traditional technology - Three-Phase Induction Motors with Squirrel Cage Rotor (MITRGE), with the use of more copper in the windings, the use of sheets of better quality ferromagnetic material, due to the optimization of electrical, magnetic and mechanical designs. However, it is easier to increase efficiency by applying new technologies such as Permanent Magnet Synchronous Motors (MSIP) and Synchronous Reluctance Motors (MSREL, also known as SynRM), which allow motors to exceed IE4 and IE5 efficiency limits. These two technologies are commercially new and fundamental for the reduction of greenhouse gas emissions, thus acting to reduce the impact of driving systems (the predominant loads in the electrical system) facilitating the paths for the energy transition to a low carbon matrix, acting in the efficiency end uses of electricity.

Keywords: Induction motor; Energy efficiency; Energy transition; Industry 4.0; Smart Drive.

1. Introdução

O setor de energia em geral impacta significativamente o meio ambiente. O uso final energético não é diferente. No caso do setor de energia elétrica, os motores elétricos são responsáveis por cerca de 70% da eletricidade consumida em nível mundial na indústria (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY; WAIDE; BRUNNER, 2011). Assim, com as atuais preocupações com o desenvolvimento sustentável, os sistemas motrizes se destacam como um importante instrumento para atuar na busca pela redução dessa demanda energética, ou ainda, pela possibilidade de ampliação da produção industrial, com menos impactos que em décadas anteriores.

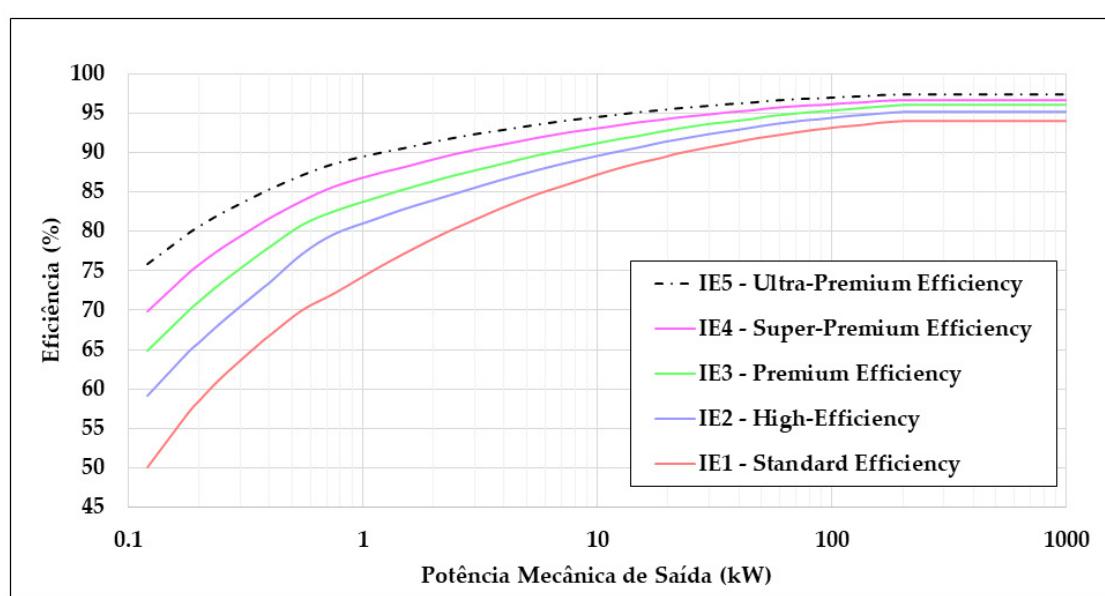
Senso comum na literatura técnica é a afirmação de que os motores elétricos pouco mudaram nos últimos 100 anos. No entanto, os motores atuais são significativamente diferentes do Motor de Indução Trifásico com o Rotor em Gaiola de Esquilo (MITRGE) desenvolvido pela equipe de Mikhail Dolivo-Dobrovolsky entre 1888 e 1890. Portanto, essa afirmativa só é válida quando se refere ao princípio de funcionamento do MITRGE (DE SOUZA *et al.*, 2022).

Com o objetivo de avançar na eficiência de equipamentos elétricos, foram definidos o padrão mínimo, intitulado como *Minimun Energy Perfomance Standard (MEPS)*, e os selos energéticos, considerados como uma das principais formas de apoiar a eficiência energética diretamente no nível do produto. Utilizar *MEPS* e selos energéticos de produtos é um modo de apoiar a escolha racional do consumidor e superar as barreiras de informações. Esses esforços são frequentemente obrigatórios, mas também podem ser voluntários (RUBY, 2015), sendo atualizados no decorrer dos anos, conforme

os avanços dos materiais construtivos e dos projetos dos equipamentos, visando à fabricação em escala comercial de equipamentos cada vez mais eficientes.

As políticas de MEPS são atribuições de políticas de Estado. No caso dos motores elétricos, são baseados em classes de eficiência, possibilitando diferentes níveis, que vão aumentando conforme os avanços tecnológicos e a aceitação do mercado. As classes de eficiência para motores internacionalmente são harmonizadas com o código IE na norma IEC 60034-30-1 (IEC 60034-31, 2014), amplamente aceita como padrão global, tornando-as comparáveis em todo o mundo. A norma define classes de eficiência IE1 a IE4 (Figura 1), nas quais IE1 é a menos eficiente e IE4 é a classe de eficiência de motor com maior eficiência. De forma similar, nos Estados Unidos as classes de rendimento IE1 a IE4 são denominadas por *Standard*, *High efficiency*, *Premium efficiency*, *Super-Premium efficiency*, de acordo com a NEMA (ASSOCIATION, 2016). A nova classe IE5 ainda não foi definida em detalhes, mas está prevista para produtos potenciais em uma edição futura da norma. Para os motores IE5 a meta é reduzir as perdas em cerca de 20% em relação à classe IE4 (DE ALMEIDA *et al.*, 2019).

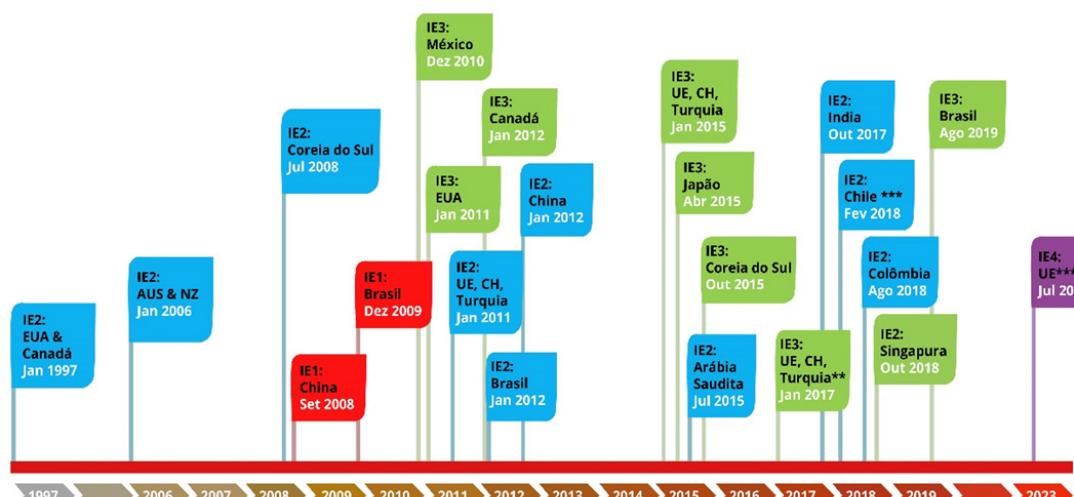
Figura 1 – Níveis de eficiência na norma de classificação IEC 60034-30-1 (2014), curvas para 50 Hz, motores de 4 polos



Fonte: IEC 60034-30-1 (2014).

A implantação dos MEPS para motores elétricos teve início nos Estados Unidos e no Canadá em 1997, sendo gradualmente aplicados posteriormente em outros países com pequenas modificações implementadas por cada governo, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Linha do tempo dos padrões globais de desempenho de eficiência mínima para motores elétricos



Fonte – Adaptação de F. J. T. E. Ferreira *et al.* (FERREIRA *et al.*, 2018).

No Brasil, a preocupação com o uso final dos recursos da natureza na matriz energética foi retomada fortemente em 2001 – quando o país enfrentou o racionamento de energia elétrica, conhecido como “apagão”. O cenário do racionamento de energia elétrica foi grande impulsionador do Decreto nº 4.508/2001 (DE SOUZA *et al.*, 2021), que criou duas categorias de motores separadas pelo rendimento: os standard e os de alto rendimento com rendimento superior. Os motores standard equivalem à categoria IE1 e os motores de alto rendimento equivalem internacionalmente à categoria IE2.

Em 2005, foi publicada a Portaria 553, que estabeleceu como nível mínimo de rendimento para motores comercializados no Brasil os valores indicados como “alto rendimento” no Decreto 4.508.

O último documento editado para o rendimento de MITRGE foi a Portaria Interministerial nº 1, de 29 de junho de 2017, publicada em 8 de agosto de 2017, estabelecendo a partir de agosto de 2019 o nível IE3 como padrão de eficiência mínima obrigatório para ser comercializado no Brasil.

Em média, cerca de 80% do uso global de eletricidade em sistemas motorizados está em países que já possuem os MEPS instituídos. Entretanto, como os motores têm uma vida útil muito longa (o que é algo positivo), é possível que esses produtos de menor eficiência ainda estejam em uso por mais de 20 anos a partir do momento que são vendidos, dada a durabilidade desses equipamentos. De tal forma que hoje, no Brasil (2021), os equipamentos fabricados antes do Decreto 4.508/2002, sem respeitar nenhuma exigência de rendimento, estão chegando ao fim do seu ciclo de vida. É, portanto, uma efetiva oportunidade para realizar procedimentos de eficiência energética nos sistemas motrizes, instalando equipamentos IE3 ou superiores.

Nessa perspectiva, há, por parte de diversas distribuidoras de energia elétrica no país, programas de incentivo à troca dos motores antigos (fabricados antes de 2009) por novos da classe IR3 (equivalente ao IE3).

As pressões competitivas das boas empresas, aliadas ao trabalhadores das agências de energia dos governos, vêm fazendo, em nível mundial, com que os MEPS se tornem cada vez mais eficientes.

A crescente conscientização dos governos e da indústria para a importância da eficiência energética em sistemas motrizes tem fomentado a pesquisa para a contínua melhoria dos motores elétricos, que já são factíveis em níveis *Super Premium Efficiency* (IE4) e *Ultra Premium Efficiency* (IE5).

Para que os MITRGE atinjam o IE5, atualmente duas possibilidades são consideradas. Uma, pela utilização de materiais amorfos com alta permeabilidade magnética, para reduzir as perdas no núcleo. Outra é a utilização de cobre para reduzir as perdas nos rotores tradicionalmente construídos de alumínio.

O pacote magnético dos MITRGE pode ser particularmente adequado com laminações amorfas, como demonstrado pela Hitachi com um protótipo de motor de 11 kW que alcançou a eficiência IE5 (ENOMOTO *et al.*, 2015). Esse protótipo apresentou tamanho reduzido em relação a um SCIM tradicional, e rendimento acima de 93% em uma ampla faixa de carga.

Os MITRGE tradicionais de média e baixa potência possuem rotor construído principalmente com alumínio fundido. Entretanto, desde 2002 já é possível encontrar, para algumas aplicações, MITRGE com rotores produzidos com cobre (KOTAK; JAIWAL; PATEL, 2016).

A rotor de gaiola de esquilo em cobre possibilita uma redução de 15% a 18% nas perdas totais do motor (isso pode representar um ganho de eficiência de 2% a 4% dependendo da potência e do número de polos) (LIE; PIETRO, 1995). Um rotor de cobre é feito de laminações de aço elétrico, nas quais as barras do rotor e os anéis de extremidade são feitos de cobre fundido em vez de alumínio fundido. O cobre é um excelente material para uso em rotores devido à sua condutividade elétrica ser maior que a do alumínio (NARDO *et al.*, 2021).

A concepção dos motores classe IE4 ainda é possível fazer com a tecnologia tradicional - Motores de Indução Trifásicos com Rotor em Gaiola de Esquilo (MITRGE). Contudo, é mais fácil elevar a

eficiência com aplicação de outras tecnologias, como Motores Síncronos de Imã Permanente (MSIP) e Motores Síncronos de Relutância (MSREL, também conhecidos como SynRM), que permitem que os motores excedam os limites de eficiência IE4 e IE5.

Observa-se que em diversos casos os valores informados pelos fabricantes são diferentes dos valores medidos em ensaios padronizados. A pesquisa de Ferreira de Souza *et al.* (2021) indicou que 58% dos valores medidos para o fator de potência dos motores foram inferiores aos informados pelo fabricante. Da mesma forma, 55% dos valores medidos para o desempenho foram inferiores aos valores indicados pelo fabricante.

2. Novas tecnologias motrizes para a transição energética

A Figura 3 apresenta uma visão geral das tecnologias de motores elétricos, ligando aos índices de eficiência mais comumente encontrados para cada tecnologia.

Figura 3 – Visão geral das tecnologias de motores trifásicos disponíveis no mercado



Fonte: Adaptação de F. J. T. E. Ferreira *et al.* (FERREIRA *et al.*, 2018).

Os Variadores Eletrônicos de Velocidade (VEV), também conhecidos como conversores de frequência ou inversores de frequência, já são amplamente utilizados em acionamentos motrizes. O uso dos VEV se dá principalmente em cargas onde o controle de velocidade é importante, ou em cargas onde as pequenas variações na velocidade podem provocar grande economia de energia elétrica, como principalmente o caso dos sistemas de bombeamento e de ventilação (cargas centrífugas).

Os motores de indução trifásicos com rotor em gaiola de esquilo (MITRGE) têm duas qualidades operacionais indiscutíveis: operam alimentados diretamente pela rede elétrica e podem partir sem auxílio de sistemas eletrônicos ou mecânicos de partida. Devido a seu baixo custo de aquisição, baixo custo de manutenção e alta confiabilidade, ainda são a escolha preferida para aplicações de velocidade fixa. Entretanto, nos casos de velocidade variável, seja para o controle, seja para a eficiência energética, outras tecnologias estão se tornando cada vez mais viáveis, como os MSIP e os MSREL.

Os motores elétricos de operação síncrona (MSIP e MSREL) basicamente não possuem as perdas no rotor, sendo este um dos principais motivos que fazem com que esses equipamentos consigam elevar o nível de eficiência energética e reduzir o seu volume físico consideravelmente, sendo apontados como o FUTURO próximo (transição energética) do acionamento motriz em velocidade variável. E se os custos continuarem caindo nos próximos anos, podem ser viáveis também em sistemas de velocidade fixa.

Os MSIP dependem do uso de ímãs permanentes e de materiais de terras raras para seus recursos avançados. A produção de ímãs permanentes de liga de terras raras tem algumas desvantagens:

gens (WÜBBEKE, 2013). Uma inconveniência econômica é a produção geograficamente concentrada em poucos países. Observa-se, também, que o processo de mineração, tratamento e refino de metais de terras raras tem um impacto ambiental significativo (DARCY et al., 2013). Por esse motivo, alguns fabricantes começaram a produção de MSIP usando materiais e tecnologias alternativas, que incluem a utilização otimizada de ímãs de ferrite de baixo custo.

A Tabela 1 apresenta uma análise comparativa simplificada das diferentes tecnologias motrizes com indicadores de desempenho em 9 categorias. Cada indicador é indicado de 1 até 5 círculos, e as cores ajudam na identificação. Vermelho é desfavorável, amarelo é médio e 5, laranjado, é favorável.

Tabela 1 – Análise comparativa das diferentes tecnologias motrizes

Itens avaliados	MITRGE sem VEV	MITRGE com VEV	MSIP	MSREL
1 - Eficiência	● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○ ○
2 - Eficiência - em toda a faixa de velocidade / torque	● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○ ○
3 - Densidade de potência [volume] [kW/kg]	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○ ○
4 - Confiabilidade e tolerância a falhas	● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○
5 - Corrente de partida / torque de partida	● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○ ○
6 - Facilidade na fabricação	● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ○	○ ○ ○ ○ ○ ○
7 - Possível volatilidade da cadeia de suprimentos	● ● ● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ● ○	● ● ● ● ●
8 - Custo dos materiais	● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○	● ● ● ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○
9 - Controle de velocidade	● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○	● ● ● ● ●	○ ○ ○ ○ ○ ○

A Tabela 1 foi construída com as informações disponíveis atualmente (2021). No futuro, existe forte possibilidade de mudança, como a exploração de novas jazidas de ímãs de terras raras melhorando os custos do MSIP.

Os MSIP para uso em acionamentos como substitutos dos MITRGE diferem do projeto tradicional da máquina síncrona por terem um rotor híbrido na tentativa de minimizar os problemas inerentes de perda do sincronismo do rotor ao atingir o torque máximo e não poder partir diretamente na rede de alimentação. Esses dois fatores impõem a necessidade de utilização de sistemas eletrônicos para o acionamento do motor. A evolução da eletrônica de potência fez com que o MSIP e o MSREL pudessem ser utilizados nos mais diversos acionamentos e em ampla faixa de potência.

Os MSREL não possuem enrolamentos ou ímãs no rotor, apenas placas de aço elétricas empilhadas juntas para formar um pacote de rotor. Ao contrário de um motor de indução, um rotor MSREL não possui correntes induzidas no rotor e, portanto, não apresenta perdas no rotor. Isso torna o

MSREL um equipamento relativamente simples, com bom controle de velocidade e torque em carga constante e carga ou velocidade variável.

As aplicações de VEV nos MITRGE tradicionais e os novos MSIP e MSREL requerem uma atualização nos procedimentos de teste para incluir o VEV necessário à partida e controle, bem como classificar o desempenho na condição de velocidade variável. Essa tarefa ainda não foi concluída no *International Electrotechnical Commission* (IEC), que lançou uma ampla discussão sobre como as perdas de carga total e parcial nos VEV e as perdas adicionais no motor devido à alimentação não senoidal devem ser contabilizadas na classificação de eficiência. Essa discussão ainda não foi finalizada.

Faz-se importante classificar as perdas dos VEV e dos demais dispositivos de acionamentos, pois a análise da eficiência completa do sistema motriz é novo horizonte normativo. Os VEV aumentam consideravelmente a eficiência energética do sistema motriz para diversos tipos de acionamento, além de possibilitarem o controle de velocidade e torque, mas também oferecem perdas nos elementos semicondutores e nos motores, por em muitas vezes não fornecer forma de onda de corrente perfeitamente senoidal.

A tendência dos acionamentos motrizes aponta para as novas tecnologias MSIP e MSREL, bem como para a intensificação da utilização de VEV. Na mobilidade elétrica, já estão sendo testadas em nível comercial formulações híbridas do MSIP e MSREL na perspectiva de aumentar a eficiência e possibilitar elevados torques em toda a faixa de velocidade, incluindo em baixas rotações.

3. O VEV como elemento para o acionamento inteligente

Muitas das tecnologias que estão ligadas ao conceito da Indústria 4.0 (I4.0) já estão disponíveis para aplicação em sistemas de acionamentos motrizes. A partir da caracterização das tecnologias ligadas à I4.0, observa-se que sua implementação tem direta relação com a eletrônica de recursos computacionais. Assim, um dos elementos principais para essa aplicação é a utilização dos Variadores Eletrônicos de Velocidade (VEV) para acionamento e controle do conjunto motor bomba, tomando um sistema de bombeamento de água como exemplo de aplicação.

Os VEV são normalmente utilizados em aplicações que necessitam de controle de fluxo do fluido de bombeamento, sistema que tem se tornado vantajoso em aplicações em que não seja obrigatório o controle de velocidade.

Com a implantação de novas tecnologias de motores elétricos, os VEV têm se fortalecido, pois são de utilização obrigatória para a operação dos motores, como os Motores Síncronos de Ímã Permanente (MSIP) e os Motores Síncronos de Relutância (MSREL). Estes devem assumir um protagonismo maior nos próximos anos, por atingirem níveis de eficiência mais elevados que os tradicionais Motores Elétricos de Indução com Rotor em Gaiola de Esquilo (MITRGE), tradicionalmente utilizados em sistemas de bombeamento (FONG et al., 2020).

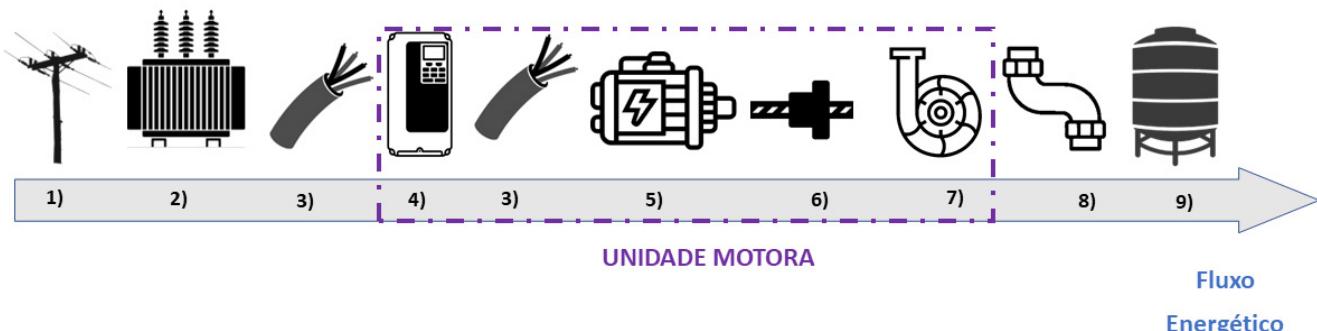
Constatam-se ganhos de produtividade com a aplicação de VEV em motores elétricos que acionam bombas hidráulicas para bombeamento de água. Segundo Huse, Kale e Dhote (2020), são principalmente:

- Controle da velocidade da bomba mantendo uma pressão solicitada pelo sistema;
- Aplicando os VEV's se reduz o desgaste do motor devido à redução da velocidade, vibração e do torque;
- Partida suave do motor e acelerações graduais reduzindo grandes transitórios elétricos onde elevadas correntes de partida podem provocar quedas de tensão na rede elétrica;
- Partida suave do motor e acelerações graduais reduzindo o stress mecânico de eixo, bem como, as tensões térmicas nos enrolamentos, e mecânicas nos acoplamentos e correias;

- Redução das bruscas mudanças de velocidade da água (transientes), podendo resultar em golpe de aríete, cavitação e vibração do conjunto motor bomba (DUTTA et al., 2020);
- Pequena redução na velocidade ou fluxo pode reduzir significativamente o uso de energia;
- Redução da taxa de manutenção do conjunto motor-bomba e;
- 20 a 40% no consumo de energia, redução típica de vazamento de água de 38%, quebras reduzidas em 53% e vida útil prolongada do conjunto motor-bomba.

Um sistema de bombeamento com a utilização de VEV é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Sistema de bombeamento utilizando VEV



Fonte: SOUZA et al., 2021; FERREIRA DE SOUZA et al., 2022.

A Tabela 2 apresenta a descrição dos componentes da Figura 4 e a distribuição aproximada das perdas em cada um deles.

Tabela 2 - Perdas no sistema de bombeamento

Item	Componente no sistema de bombeamento	Eficiência (%)	Observações	Referências
1	Sistema de distribuição de energia elétrica	-	Existem perdas no sistema de distribuição de energia elétrica. Mas esta análise se restringe ao sistema de bombeamento.	-
2	Transformador elétrico	~98	Não existe conversão direta de energia. A entrada e saída são de energia elétrica, o transformador é um equipamento naturalmente de alta eficiência.	(KRISHNAMOORTHY; JAYABAL, 2015)
3	Cabos elétricos	~98	Para curtas distâncias, as perdas dos cabos elétricos são baixas.	(KAZAKBAEV et al., 2020)
4	VEV	~95-98	Não existe conversão direta de energia. A entrada e saída são de energia elétrica, o VEV é um equipamento naturalmente de alta eficiência.	(WANG et al., 2021)
5	Motor Elétrico	>80	O motor elétrico realiza a conversão de energia elétrica por energia mecânica. Apresenta perdas elétricas, perdas magnéticas e perdas mecânicas.	(DE ALMEIDA et al., 2019)
6	Acoplamento	~99	Realiza o acoplamento entre o motor elétrico e a bomba centrífuga.	(CHOOSE CORRECT DRIVE COUPLING TO MAXIMISE PUMP AND DRIVE MOTOR EFFICIENCY, 2010)

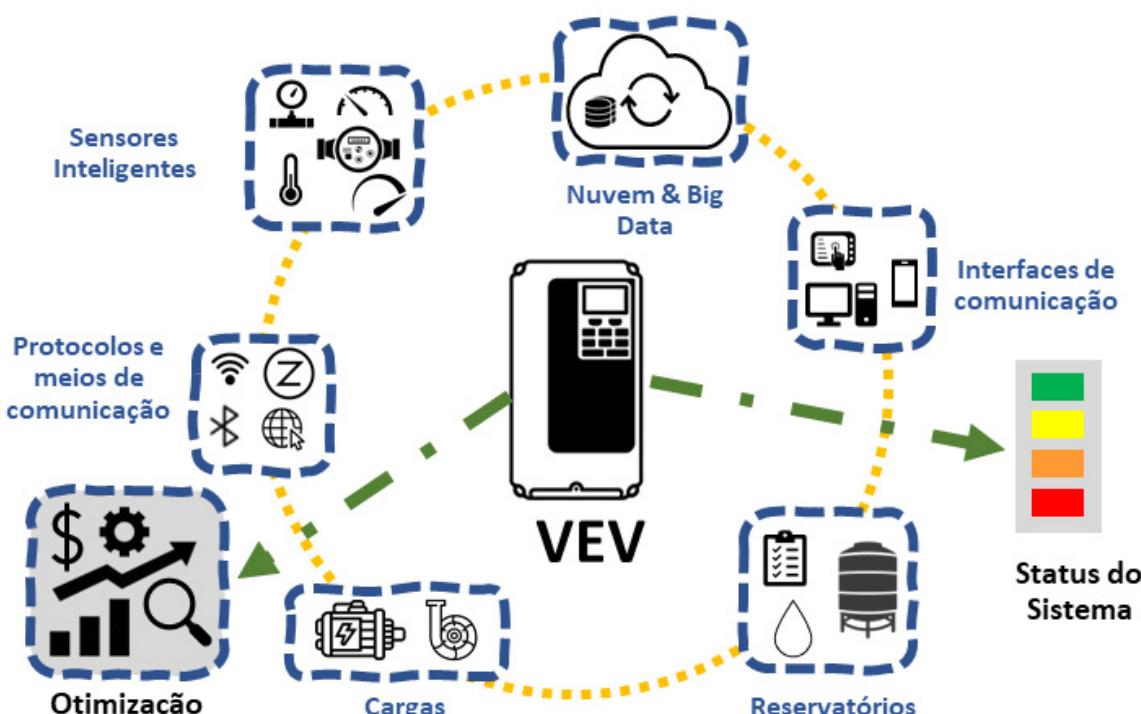
7	Bomba Centrífuga	35-70	As bombas centrífugas apresentam perdas mecânicas e hidráulicas. São dependentes da vazão e da pressão do sistema de tubulações.	(MITROVIC et al., 2021)
8	Sistema de tubulação	~73	Pressões elevadas no sistema de tubulação provocam vibrações e desgastes.	(WSU ENERGY PROGRAM, 2014)
9	Reservatório superior	-	As perdas no reservatório superior ocorrem pela evaporação da água. Não é, assim, perda efetivamente energética.	-

Levando-se em consideração que um dos pilares da I4.0 é a operação em redes, o papel dos VEV neste contexto não é de um simples acionador eletrônico. Além de serem processadores de potência, os VEV tornam-se elementos da cadeia de informações, sendo cada vez mais usados como sensores ou controladores inteligentes. Para aplicação das Tecnologias ligadas à I4.0, os VEV desempenham um papel importante, que é caracterizado pela atuação inteligente por meio de diversos recursos, visando à conectividade contínua com os diversos dispositivos, e realizando a aquisição de dados elétricos e o controle do motor elétrico (HANIGOVSKY, 2019).

A economia de energia elétrica alcançada é notável quando se controla a velocidade do sistema de bombeamento utilizando os VEV. De modo geral, as oportunidades para melhorar a eficiência energética do sistema de bombeamento de água são classificadas em três categorias distintas: (i) seleção de componentes; (ii) dimensionamento do sistema de bombeamento; e (iii) controle de velocidade variável das bombas.

No contexto da I4.0, para a formação do Bombeamento Inteligente (exemplo escolhido) os diversos elementos do sistema, como motores, acionamentos, sensores e controles, ficam interconectados e conectados a uma nuvem - onde os dados são armazenados, processados, analisados e as decisões são tomadas como discutido no item 3.3. Após a tomada de decisão, o equipamento inteligente que realiza a ação referente ao ponto de operação ou a não operação do Sistema de Bombeamento Inteligente é o VEV, e por esse motivo é o equipamento central para a concepção deste novo conceito, conforme a Figura 5.

Figura 5 – VEV como elemento central do Bombeamento Inteligente



4. Conclusões

O sistema de bombeamento predial é parte integrante e fundamental dos serviços para o bom funcionamento das edificações. Com os novos paradigmas da I4.0, os edifícios também apontam para sistemas de inteligência integrados e cada vez mais autônomos.

Este trabalho apresentou algumas das tecnologias da I4.0 que já podem ser aplicadas aos sistemas motrizes de bombeamento de água para prédios no contexto da transição energética. Com a aplicação dos conceitos as melhorias se estruturam basicamente em quatro pilares: i) aumento da eficiência energética do sistema; ii) aumento da vida útil do sistema reduzindo as falhas; iii) melhoria no controle e na previsibilidade do sistema; e iv) possibilidade de monitoramento.

A participação da eletricidade no uso final de energia tende a aumentar, pois os sistemas de motores elétricos crescerão, porque estão presentes em duas grandes opções de descarbonização envolvendo eletrificação: eletricidade veículos (não discutida neste trabalho por se tratar de força motriz estacionária) e bombas de calor. Ainda, no acesso aos bens de consumo mais básicos nos países em desenvolvimento, como motores elétricos nas geladeiras, refrigeradores, ventiladores, condicionadores de ar e bombeamento de água.

A tendência dos acionamentos motrizes aponta para as novas tecnologias MSIP e MSREL, bem como para a intensificação da utilização de VEV. Na mobilidade elétrica, já estão sendo testadas em nível comercial formulações híbridas do MSIP e MSREL na perspectiva de aumentar a eficiência e possibilitar elevados torques em toda a faixa de velocidade, incluindo em baixas rotações.

Nesse sentido, é importante classificar as perdas dos VEV e dos demais dispositivos de acionamentos, pois a análise da eficiência completa do sistema motriz é novo horizonte normativo. Os VEV aumentam consideravelmente a eficiência energética do sistema motriz para diversos tipos de acionamento, além de possibilitarem o controle de velocidade e torque, mas também oferecem perdas nos elementos semicondutores e nos motores, pois, em muitos casos, não disponibilizam forma de onda de corrente perfeitamente senoidal.

Concluindo, para os avanços na pesquisa, faz-se necessária mais coordenação entre a academia, a indústria e o governo para orientar a implantação de sistemas prediais inteligentes no mundo real. A data de publicação das referências utilizadas no trabalho demonstra o quanto atual é o conceito da I4.0 e o amplo campo de aplicação das tecnologias para a construção de uma sociedade conectada.

Agradecimentos

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): Projeto nº 00390-1086/2018 (ENEL) – Avaliação integrada da geração distribuída, gestão da demanda, monitoramento, qualidade, desempenho da rede, visando otimizar investimentos e regulação tarifária na rede subterrânea, e Projeto nº 00061-0054/2016 (CESP)—Análise da eficiência de armazenamento de energia complementar com usinas hidrelétricas, utilizando tecnologias eletroquímicas e de armazenamento de hidrogênio; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq): Projeto 870814/1999-0, Processo 142323/2020-9.

Referências

ASSOCIATION NATIONAL ELECTRICAL MANUFACTURERS. **NEMA motors and generators.** NEMA Standards Publication, Rosslyn, Virginia, v. 44, n. 06975790, p. 1–2, 2016. Disponível em: <https://www.nema.org/standards/view/motors-and-generators>. Acesso em: 20 jul. 2021.

CHOOSE correct drive coupling to maximise pump and drive motor efficiency. **Engineer**, [s. l.], v. september, 2010.

DARCY, Julia W.; DHAMMIKA BANDARA, H. M.; MISHRA, B.; BLANPLAIN, B.; APELIAN, D.; EM-MERT, Marion H. Challenges in Recycling End-of-Life Rare Earth Magnets. **JOM**, [s. I.], v. 65, n. 11, p. 1381–1382, 2013. DOI: 10.1007/S11837-013-0783-0. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11837-013-0783-0>. Acesso em: 15 jul. 2021.

DE ALMEIDA, A.; FONG, J.; BRUNNER, C. U.; WERLE, R.; VAN WERKHOVEN, M. New technology trends and policy needs in energy efficient motor systems - A major opportunity for energy and carbon savings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. I.], v. 115, p. 109384, 2019. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109384.

DE SOUZA, Danilo Ferreira; SALOTTI, Francisco Antônio Marino; SAUER, Ildo Luís; TATIZAWA, Hédio; DE ALMEIDA, Aníbal Traça; KANASHIRO, Arnaldo Gakiya. AN ASSESSMENT OF THE IMPACT OF BRAZILIAN ENERGY EFFICIENCY POLICIES FOR ELECTRIC MOTORS. **Energy Nexus**, [s. I.], v. 5, p. 100033, 2021. DOI: 10.1016/j.nexus.2021.100033. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2772427121000334>. Acesso em: 10 jan. 2022.

DE SOUZA, Danilo Ferreira; SALOTTI, Francisco Antônio Marino; SAUER, Ildo Luís; TATIZAWA, Hédio; DE ALMEIDA, Aníbal Traça; KANASHIRO, Arnaldo Gakiya. A Performance Evaluation of Three-Phase Induction Electric Motors between 1945 and 2020. **Energies**, [s. I.], v. 15, n. 6, p. 2002, 2022. DOI: 10.3390/en15062002. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/6/2002/htm>. Acesso em: 17 mar. 2022.

DUTTA, Nabanita; PALANISAMY, Kaliannan; SUBRAMANIAM, Umashankar; PADMANABAN, Sanjeevikumar; HOLM-NIELSEN, Jens Bo; BLAABJERG, Frede; ALMAKHLES, Dhafer Jaber. Identification of water hammering for centrifugal pump drive systems. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. I.], v. 10, n. 8, p. 2683, 2020. DOI: 10.3390/APP10082683. Disponível em: www.mdpi.com/journal/applsci. Acesso em: 25 jun. 2021.

ENOMOTO, Yuji; TOKOI, Hirooki; IMAGAWA, Takao; SUZUKI, Toshifumi; OBATA, Takeshi; SOUMA, Kenichi. Amorphous motor with IE5 efficiency class. **Hitachi Review**, [s. I.], v. 64, n. 8, p. 480–487, 2015.

FERREIRA DE SOUZA, Danilo; ANTONIO MARINO SALOTTI, Francisco; LUIS SAUER, Ildo; TATIZAWA, Hedio; GAKIYA KANASHIRO, Arnaldo. A Comparison between Reported Values and Measured Values of Power Factor and Efficiency for Electric Induction Motors. **IEEE Latin America Transactions**, [s. I.], v. 19, n. 2, p. 173–181, 2021. DOI: 10.1109/TLA.2021.9443058.

FERREIRA DE SOUZA, Danilo; LALESCA, Emeli; DA GUARDA, Aparecida; PEREIRA DA SILVA, Weliton Tatom; SAUER, Ildo Luis; TATIZAWA, Hédio. Perspectives on the Advancement of Industry 4.0 Technologies Applied to Water Pumping Systems: Trends in Building Pumps. **Energies 2022**, v. 15, page 3319, [s. I.], v. 15, n. 9, p. 3319, 2022. DOI: 10.3390/EN15093319. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/9/3319/htm>. Acesso em: 3 maio. 2022.

FERREIRA, Fernando J. T. E.; SILVA, Andre M.; AGUIAR, Victor P. B.; PONTES, Ricardo S. T.; QUISPE, Enrique C.; DE ALMEIDA, Anibal T. Overview of Retrofitting Options in Induction Motors to Improve Their Efficiency and Reliability. **Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe, EEEIC/I and CPS Europe 2018**, [s. I.], 2018. DOI: 10.1109/EEEIC.2018.8493887.

FONG, João; FERREIRA, Fernando J. T. E.; SILVA, André M.; DE ALMEIDA, Aníbal T. IEC61800-9 system standards as a tool to boost the efficiency of electric motor driven systems worldwide. **Inventions**, [s. I.], v. 5, n. 2, p. 1–15, 2020. DOI: 10.3390/inventions5020020. Disponível em: www.iec.ch. Acesso em: 15 jun. 2021.

HANIGOVSKY, Norbert. Developments and Trends in the Adjustable Speed Drives Industry. In: PROCEEDINGS 2019 INTERNATIONAL AEGEAN CONFERENCE ON ELECTRICAL MACHINES AND POWER ELECTRONICS, ACEMP 2019 AND 2019 INTERNATIONAL CONFERENCE ON OPTIMIZATION OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC EQUIPMENT, OPTIM 2019. **Anais** [...]. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. p. 51–56. DOI: 10.1109/ACEMP-OPTIM44294.2019.9007208.

HUSE, Sanjay N.; KALE, Ravindra D.; DHOTE, V. P. Development of Smart Water Supply System for University Water Supply Through Automation and Real-Time Operations. **Journal of The Institution of Engineers (India): Series B**, [s. I.], v. 101, n. 5, p. 497–510, 2020. DOI: 10.1007/s40031-020-00459-4. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40031-020-00459-4>. Acesso em: 19 maio. 2021.

IEC 60034-31. **IEC 60034-31 Ed. 1.0 b:2010 - Rotating Electrical Machines - Part 31: Selection Of Energy-Efficient Motors Including Variable Speed Applications - Application Guide** Geneva, 2014. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/publication/136>. Acesso em: 29 abr. 2021.

INTERNACIONAL ENERGY AGENCY; WAIDE, Paul; BRUNNER, Conrad U. Energy-Efficiency Policy Opportunities for Electric Motor-Driven Systems. **Internationale energy agency**, [s. l.], p. 132, 2011. DOI: 10.1787/5kgg52gb9gjd-en.

KAZAKBAEV, Vadim; PRAKHT, Vladimir; DMITRIEVSKII, Vladimir; GOLOVANOV, Dmitry. Feasibility study of pump units with various direct-on-line electric motors considering cable and transformer losses. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 10, n. 22, p. 1–21, 2020. DOI: 10.3390/app10228120. Disponível em: www.mdpi.com/journal/applsci. Acesso em: 30 jun. 2021.

KOTAK, Veena; JAIWAL, N. K.; PATEL, S. N. Improvising strategies for efficiency of IE 4 SCIM 2.2kW through simulation. **International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques, ICEEOT 2016**, [s. l.], p. 3932–3936, 2016. DOI: 10.1109/ICEEOT.2016.7755452.

KRISHNAMOORTHY, Suresh; JAYABAL, Devishree. Evaluation of transformer loading and energy loss for increasing energy efficiency in distribution system. In: ECTI-CON 2015 - 2015 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL ENGINEERING/ELECTRONICS, COMPUTER, TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION TECHNOLOGY 2015. **Anais** [...]. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2015. DOI: 10.1109/ECTICon.2015.7206957.

LIE, Sian; PIETRO, Carlo Di. Copper die-cast rotor efficiency improvement and economic consideration. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 419–424, 1995. DOI: 10.1109/60.464863.

MITROVIC, Djordje; MORILLO, Jorge García; RODRÍGUEZ DÍAZ, Juan Antonio; MC NABOLA, Aonghus. Optimization-Based Methodology for Selection of Pump-as-Turbine in Water Distribution Networks: Effects of Different Objectives and Machine Operation Limits on Best Efficiency Point. **Journal of Water Resources Planning and Management**, [s. l.], v. 147, n. 5, p. 04021019, 2021. DOI: 10.1061/(asce)wr.1943-5452.0001356.

NARDO, Mauro Di; MARFOLI, Alessandro; DEGANO, Michele; GERADA, Chris; CHEN, Wenliang. Rotor Design Optimization of Squirrel Cage Induction Motor-Part II: Results Discussion. **IEEE Transactions on Energy Conversion**, [s. l.], v. 36, n. 2, p. 1280–1288, 2021. DOI: 10.1109/TEC.2020.3020263.

RUBY, Tobias Møller. Innovation-enabling policy and regime transformation towards increased energy efficiency: the case of the circulator pump industry in Europe. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 103, p. 574–585, 2015. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2015.02.017.

SOUZA, Danilo Ferreira De; GUARDA, Emeli Lalesca Aparecida Da; SAUER, Ildo Luis; TATIZAWA, Hédio. Energy Efficiency Indicators for Water Pumping Systems in Multifamily Buildings. **Energies 2021, v. 14, page 7152**, [s. l.], v. 14, n. 21, p. 7152, 2021. DOI: 10.3390/EN14217152. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/21/7152/htm>. Acesso em: 2 nov. 2021.

WANG, Wei; SONG, Qiang; ZHANG, Shuo; LI, Yiting; AHMAD, Mukhtiar; GONG, Yansong. The Loss Analysis and Efficiency Optimization of Power Inverter Based on SiC mosfets under the High-Switching Frequency. **IEEE Transactions on Industry Applications**, [s. l.], v. 57, n. 2, p. 1521–1534, 2021. DOI: 10.1109/TIA.2020.3045116. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9294148/>. Acesso em: 30 jun. 2021.

WSU ENERGY PROGRAM. **A sourcebook for industry advanced manufacturing office Improving Motor and Drive System Performance**. [S.l.: s.n.]. Disponível em: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/amo_motors_sourcebook_web.pdf. Acesso em: 30 jun. 2021.

WÜBBEKE, Jost. Rare earth elements in China: Policies and narratives of reinventing an industry. **Resources Policy**, [s. l.], v. 38, n. 3, p. 384–394, 2013. DOI: 10.1016/J.RESOURPOL.2013.05.005.

Updates on the attractiveness of intermittent renewable energy sources in Brazil

Erick Meira¹

Marcelo Casagrande²

Contents: 1. Introduction. 2. Evaluation setup. 3. Short-term LCOE results. 4. Medium and long-term LCOEs. 5. Conclusions and directions for further research. References.

Abstract: Energy transition is a global consensus, with several guidelines towards environmental preservation policies. Under the Paris Agreement of 2015, for instance, to control the increase in average global temperature by at most 2 degrees Celsius, one of the most important actions is the reduction of greenhouse gases (GHG) emissions. Brazil, as a signatory, should tailor its policies accordingly, one of them being the investment in renewable energies. In terms of GHG emissions, the Brazilian energy matrix is considerably competitive when compared to those from other global economies. For instance, the share of fossil fuels in electricity generation in Brazil is estimated at 14%, while the world average revolves around 64%. On the other hand, the largest share is attributed to hydraulic sources, which show signs of exhaustion in terms of new installed capacity and are dependent on weather conditions. In such contexts, intermittent renewable alternatives, wind and solar particularly, play a central role. Apart from contributing to 'Net Zero' emissions, advantages of investing in wind and solar power include their complementary nature with hydraulic resources and the potential for decentralized generation. However, only a few studies have assessed the economic competitiveness of these sources in Brazil at the most aggregate level. The scarcity of studies is even greater when multiple timespans are considered. In this work, we aim to fill such gaps by assessing, with official data and reasonable estimates, at which pace and how the cost competitiveness of wind and solar sources should evolve in Brazil, thus providing important insights for investors and other stakeholders. The LCOE (Levelized Cost of Energy) metric is used as criterion for comparison with other electricity generating sources present in the Brazilian energy matrix. Different time horizons are considered, with forecasts provided up to 2050. In doing so, the study aims to understand the current situation of competitiveness and investment attractiveness of wind and solar energies and identify possible avenues for the development of these sources over time. Findings, policy implications and directions for future research are further discussed.

Keywords: Intermittent renewables; LCOE; Energy Planning; Wind Power; Solar Power.

1. Introduction

Renewable energy generation has emerged as a necessary condition for the achievement of climate goals in several economies. The electricity generation sector is at the heart of the energy transition process mainly because the sector acts as a means of achieve the decarbonization of consumer segments.

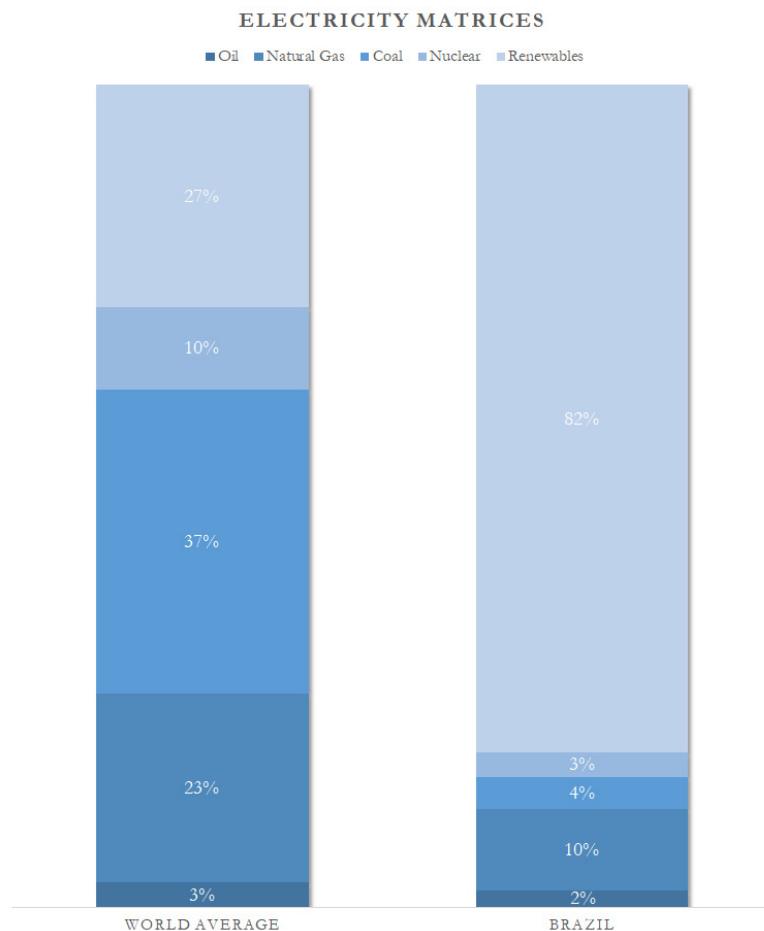
In Brazil, the scenario is very promising. The country's electricity matrix is adapted to allow the decarbonization of other sectors, which grants the country several benefits in the transition to a low carbon economy (OLIVEIRA, 2015). While several countries seek to reduce coal generation (IEA, 2020a), in

¹ PhD, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio), Brazil, research@erickmeira.com

² BSc, Baker Hughes Energy Technology, Brazil, marcelo.casagrande@bakerhughes.com

Brazil the starting condition is already an 82% renewable matrix (CEBRI, 2021), as depicted in Figure 1. On the other hand, the largest share is attributed to hydraulic sources, which show signs of exhaustion in terms of new installed capacity and are dependent on weather conditions. In such contexts, intermittent renewable alternatives, wind and solar particularly, play a central role in this process. Apart from contributing to 'Net Zero' emissions, these sources can complement hydroelectric plants in ensuring energy security, alleviating the need for more polluting thermoelectric plants to fulfill this function.

Figure 1 – Average share of energy sources in the electricity matrix (world average and Brazil).



Sources: IEA (2020a) for world average, CEBRI (2021) for Brazil.

Despite the substantial literature output concerning the benefits of wind and solar power in terms of accelerating the energy transition, the specialized literature on the real attractiveness of these sources over time is still scarce. In most cases, the studies are limited to one or a few regions, thus not considering the average for the whole country (EFFIOM et al., 2016; DOS REIS et al., 2021).

Considering the strategic role that wind and solar power already play in Brazil and their promising avenues for the next decades, this paper aims to assess the current competitiveness of these sources whilst predicting their outcomes until 2050. For being one of the most relevant factors in investment decisions, particular attention is given to cost competitiveness, comparing the costs associated with wind and solar power with those from established energy sources in Brazil. For this purpose, the LCOE (Levelized Cost of Energy) metric is adopted, which can be applied to any source of energy generation to make their costs comparable to each other. Foreshadowing our main results, we find evidence towards competitive costs for onshore wind and solar photovoltaic power in the short-term in Brazil. From 2030 onwards, these sources are likely to rank as the most attractive energy sources in the country, given the technological advances and the gains in economy of scale for these renewable sources in the next decades, with solar photovoltaic outperforming all other sources in the mid and long-term.

Besides this introduction, the article is divided into four other sections. Section 2 shows how official data is obtained and processed to generate the results. Section 3 presents the results for the

LCOEs computed in the short-term, i.e., up to 2030. The estimates for the LCOE in the medium (2030-2040) and long-term (2040-2050) are depicted in Section 4. Finally, Section 5 concludes and suggests directions for future studies.

2. Evaluation setup

To assess the potential increase of wind and solar photovoltaic generation in Brazil in the next decades, official data provided by the Brazilian Energy Research Office (EPE) is considered. A comparison in terms of cost competitiveness with other energy sources is conducted using data from their capital expenditures (CAPEX), their operational costs (OPEX) and the concept of LCOE (Levelized Cost of Energy). Simply put, CAPEX can be understood as the initial investment and purchase of capital goods and OPEX as ongoing maintenance costs. LCOE, in turn, is the sum of the two parameters (or the total cost of a plant) divided by the total power generation over a plant's lifetime.

The LCOE is a widely accepted and widespread metric in the literature – see, for example, IRENA (2019) and EIA (2021). The metric is defined as the investment required to receive a rate of return equal to the discount rate applied over the entire lifetime of an energy plant, without considering tax expenditures and inflation. Thus, the LCOE can be calculated according to the following equation:

$$LCOE = \frac{CAPEX + \sum_{t=1}^T \frac{OPEX_t}{(1 + WACC)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{AEP_t}{(1 + WACC)^t}} \quad (1)$$

where CAPEX represents the capital expenditure and OPEX represents the operational expenditure. AEP stands for the annual energy production of a plant and WACC is the discount rate adopted (Weighted Average Cost of Capital). The LCOE thus provides an estimate of how much money is required to produce 1 MWh of electricity.

CAPEX and OPEX data for the different energy sources considered were collected from two official studies conducted by EPE: the Ten-Year Energy Expansion Plan 2030 (EPE, 2021b) (henceforth, PDE as in its Portuguese acronym), and the National Energy Plan 2050 (EPE, 2020) (henceforth, PNE). The objective of these studies is to supply data for energy policy formulation and present scenario predictions about the future expansion of the Brazilian energy sector (DE OLIVEIRA & CYRINO OLIVEIRA, 2018; MEIRA et al., 2021). Furthermore, to calculate the AEP for the different sources, we used the official data available at the 2021 Statistical Yearbook of Electricity (EPE, 2021a), also prepared by the EPE. Table 1 summarizes the collected data.

Table 1 – Annual Energy Production (AEP), Installed Capacities (Inst Cap) and Capacity Factors (CF) for different energy sources in Brazil. Sources: EPE (2020, 2021a)

Energy source	AEP (MWh)	Inst Cap (MW)	CF
Nuclear	14,052,600	1,990	90%
Coal	11,945,520	3,203	69%
Natural Gas	53,515,350	14,927	66%
Hydro	374,358,161	103,027	55%
Onshore Wind	57,050,710	17,131	47%
Biomass	55,612,840	15,011	33%
Solar PV	10,717,000	3,287	30%

Sources: Brazilian National Energy Plan 2050 (EPE, 2020) for Inst Cap and CF values; Brazilian 2021 Statistical Yearbook of Electricity (EPE, 2021a) for AEP values.

Concerning the discount rate, two different scenarios were considered. In the first scenario (hereafter referred to as “Future DI”), aiming to represent the reality of the Brazilian economy as closely as possible, the annual projections for the future interest rates were estimated from the rates of futures contracts for the Interbank Deposit rate (DI, in Portuguese acronym), traded in the Brazilian stock exchange. These rates are depicted in Table 2. In the second scenario (identified as “WACC”), we adopted a fixed discount rate of 10% p.a. as a simplifying measure, in line with recent works in the LCOE literature (DOS REIS et al., 2021):

Table 2 – Selected DI Future Rates.

t (years)	Ticker	Due date	Interest rate (% p.a.)
1	DI1F23	01/01/2023	12.4300
2	DI1F24	01/01/2024	11.9550
3	DI1F25	01/01/2025	11.3750
4	DI1F26	01/01/2026	11.2600
5	DI1F27	01/01/2027	11.3050
6	DI1F28	01/01/2028	11.3700
7	DI1F29	01/01/2029	11.4600
8	DI1F30	01/01/2030	11.5700
9	DI1F31	01/01/2031	11.5600
10	DI1F32	01/01/2032	11.6650
11	DI1F33	01/01/2033	11.6700
12	Linear interpolation		
13	DI1F35	01/01/2035	10.0800
14	DI1F36	01/01/2036	10.1900
15	DI1F37	01/01/2037	11.8040

Sources: INFOMONEY (2022).

As can be noted, not all years are associated with Future DI contracts ending on January 1st. Thus, to avoid compromising the LCOE calculations, a simple linear interpolation was conducted for the year 2032, that is, we considered for this year’s annual rate an arithmetic average between the rate of the previous year and that of the following year. From 2033 onwards, a constant rate of 9.3100% p.a. was adopted, the same as observed in the last available year. This was necessary because the service life of the analyzed power plants is at least 20 years, a duration that exceeds the limit of estimates for future DI contracts.

Considering the above data, the CAPEX, OPEX and LCOEs of the different energy sources considered were computed. When the costs of wind and solar energy are compared to those of other sources, renewable or not, they should theoretically be attractive for investments. On the other hand, one must also consider the advantages and disadvantages that investing in these sectors can provide, not only in relation to the expansion, security, and productivity of electricity generation in Brazil, but also in terms of their sustainability, such as impacts on ecosystems, climate and local communities and economies.

We hasten to add that several caveats exist regarding the use of LCOE as a measure of economic attractiveness. First, multiple metrics for this calculation are available in the literature, with multiple institutions and authors adopting different variables, which limits the comparison between different data sources. Exchange rate variations can also make it difficult to compare LCOEs from different periods,

as they directly affect the associated costs (JOHNSTON et al., 2020). Another criticism comes from the fact that the LCOE disregards any environmental or social externalities, such as waste and pollution arising from energy generation, which can directly impact the decision to prioritize renewable and clean energy sources (GUIMARÃES, 2019).

3. Short-term LCOE results

Table 3 summarizes the CAPEX per installed kW, the OPEX spent per kW in each year and the expected service life of each type of plant selected, according to the corresponding energy source. As previously outlined, all data were obtained from the PDE 2030 and PNE 2050, prepared by EPE. It should be noted, however, that the costs calculations expressed in the PDE 2030 considered the dollar quoted at R\$ 4.90. As this relationship does not reflect nowadays the observed exchange rate, an adaptation was made using the median of the market projections expressed in the Focus Bulletin, published on a weekly basis by the Brazilian Central Bank (BCB). The February 4th, 2022 edition was used as reference, arriving at the expectation of an exchange rate priced at R\$5.60/US\$ at the end of 2021. This explains the difference between CAPEX and OPEX data presented in Table 3 and those depicted in PDE 2030. In addition, the Focus Bulletin provided exchange rates forecasts for the years 2022, 2023, 2024 and 2025 (R\$5.50; R\$5.39; R\$5.35; and R\$5.41, respectively) (BCB, 2022). These were used to calculate the OPEX of the selected sources for the same years. Due to the lack of data for the following years, the last exchange rate was extended and used as an approximation. This exchange rate variation was imposed on OPEX because this is the variable cost component, applicable to each year of the service life of each power plant. Meanwhile, CAPEX is a fixed component, applicable only in the initial year.

Finally, the last column in Table 3 presents the total investment per kW necessary for the whole service life of a power plant. This is obtained by summing the CAPEX with the resulting multiplication of the OPEX by the years of each power plant service life, as a preliminary comparison. The results indicate that the nuclear source stands today as the most expensive energy source with respect to the capital expenditure necessary to build and operate the energy plant. On the other hand, the least expensive from this preliminary perspective is the solar photovoltaic.

Table 3 – CAPEX and OPEX of the energy sources considered in the study.

Energy source	CAPEX/kW	OPEX/kW/year	Service life (years)	Total/kW
Nuclear	R\$ 26,500.00	R\$ 530.00	30	R\$ 42,400.00
Coal	R\$ 10,600.00	R\$ 173.06	25	R\$ 14,926.53
Natural Gas (CC)	R\$ 9,663.88	R\$ 43.27	30	R\$ 10,961.84
Hydro	R\$ 4,434.69	R\$ 173.06	20	R\$ 7,895.92
Onshore Wind	R\$ 4,867.35	R\$ 97.35	20	R\$ 6,814.29
Biomass (cane)	R\$ 4,326.53	R\$ 97.35	20	R\$ 6,273.47
Solar PV	R\$ 4,326.53	R\$ 54.08	20	R\$ 5,408.16

Sources: Brazilian Ten-Year Energy Expansion Plan 2030 (EPE, 2021b) for CAPEX/kW values; Brazilian National Energy Plan 2050 (EPE, 2020) for OPEX/kW/year and Service life. Notes: CC stands for Combined Cycle.

As can be noted, Table 3 does not consider the annual energy production to provide a fairer comparison, as considered in the LCOE. Since the CF of the solar photovoltaic energy source is very

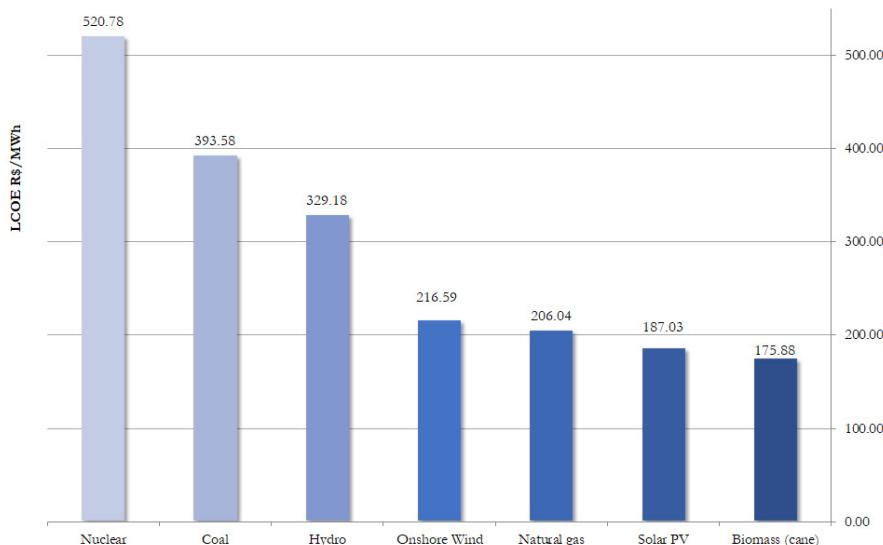
low (30%), when we consider the comparison using the LCOE, this source loses the first position to the sugar cane biomass in terms of economic competitiveness, as can be observed in Table 4. To provide a visual comparison, Figure 2 illustrates the short-term LCOEs computed for each energy source, in R\$/MWh and considering the ‘Future DI’ scenario (first column of Table 4).

Table 4 – Short-term LCOE for different sources in Brazil.

Energy source	R\$/MWh		US\$/MWh	
	Future DI	WACC	Future DI	WACC
Nuclear	520.78	470.62	98.26	88.80
Coal	393.58	357.94	74.26	67.54
Natural Gas (CC)	206.04	191.94	38.88	36.22
Hydro	329.18	293.67	62.11	55.41
Onshore Wind	216.59	199.93	40.87	37.72
Biomass (cane)	175.88	162.57	33.18	30.67
Solar PV	187.03	171.90	35.29	32.43

Sources: The authors, based on official data from EPE.

Figure 2 – Short-term LCOEs for the different energy sources in Brazil considering the ‘Future DI’ scenario.



Sources: The authors, based on official data from EPE.

The results depicted in Table 4 and Figure 2 indicate that solar photovoltaic ranks among the most cost competitive energy sources in Brazil from the viewpoint of the LCOE, being surpassed only by sugar cane biomass. The Natural Gas (in the combined cycle generation) stands as the third most competitive energy source from the point of view of the LCOE. This is an advantage for attracting investments in this fuel: besides being efficient in terms of power generation, natural gas is also considered as a less polluting energy source among the fossil fuels (MEIRA et al., 2022). In addition, power plants that operate using natural gas are considered as base energy plants, as they do not rely on intermittent sources like wind and solar. On the other hand, one should note that generating energy through natural gas power plant still contributes to global warming. Therefore, despite being less expensive than other energy sources, natural gas prioritization should be relativized, considering the environmental advantages of investing in alternative renewable sources.

Onshore wind is also competitive, outperforming nuclear, coal and hydric sources. In addition, one must note that the alternative renewable energy sources still have a long way to go in terms of technological improvements, which is not the case for the established energy sources.

4. Medium and long-term LCOEs

Among all energy sources herein considered, those with greater prospects of cost reductions according to the 2050 PNE are wind and solar photovoltaic. This perspective is justified because they are renewable sources that have not yet reached their full maturity and expected gains of scale, unlike the established sources in the Brazilian energy matrix. These, notably fossil fuels, hydro, nuclear and biomass, should maintain their cost levels or suffer little significant reductions.

To investigate the cost reduction potential in wind and solar generation in Brazil in the next decades, we estimated the LCOEs of these sources for the periods comprising the years from 2030 to 2040 (medium term) and the years from 2040 to 2050, (long-term). To perform these calculations, we once again referred to the PNE 2050 (EPE, 2020), which provides estimates of how much the CAPEX and OPEX costs should decrease in the selected periods. These estimates are depicted in Table 5. We also adopted an exchange rate of R\$5.41/US\$, following the longest forecast for this variable available in the Brazilian Central Bank Focus Bulletin of February 4th, 2022.

Table 5 – CAPEX and OPEX values for onshore wind and solar photovoltaic energy sources in the short, medium and long term in Brazil.

Period	CAPEX (R\$/kW)		OPEX (R\$/kW)	
	Onshore Wind	Solar PV	Onshore Wind	Solar PV
2020-2030	4,867.35	4,326.53	97.35	54.08
2030-2040	3,853.32	3,502.43	97.35	43.27
2040-2050	3,536.94	2,641.24	97.35	32.45

Sources: Brazilian Ten-Year Energy Expansion Plan 2030 (EPE, 2021b) for the short-term; Brazilian National Energy Plan 2050 (EPE, 2020) for the medium and long-term.

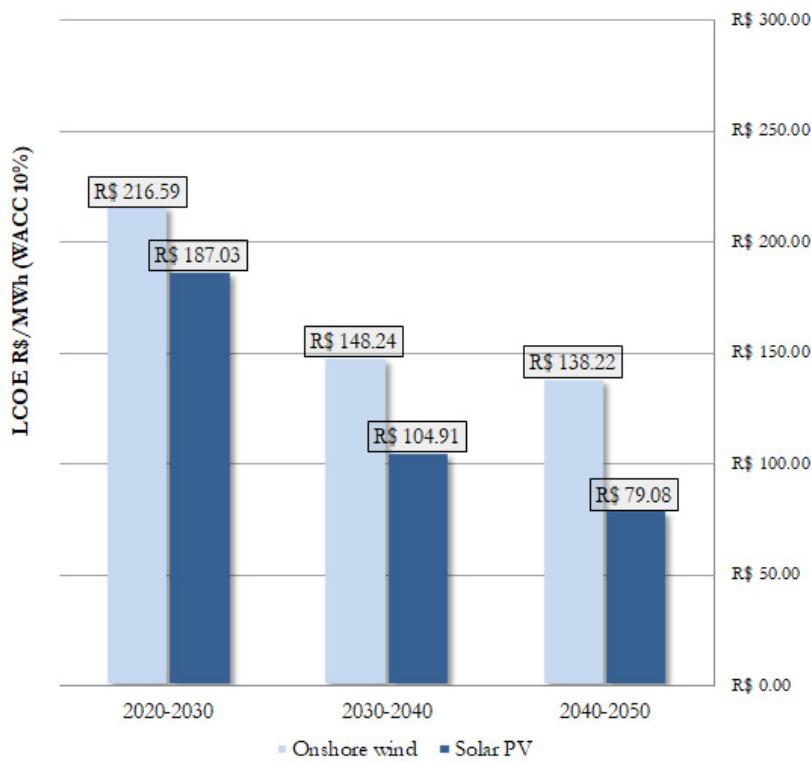
Based on the new data and considering only the WACC discount rate of 10% p.a., since the Futures DI projections would be insufficient for long term projections, the medium and long-term LCOEs estimates were computed. The results are depicted in Table 6 and in Figure 3.

Table 6 – Medium and long-term LCOEs for onshore wind and solar photovoltaic in Brazil.

Period	LCOE (R\$/MWh)		LCOE (US\$/MWh)	
	Onshore Wind	Solar PV	Onshore Wind	Solar PV
2030-2040	148.24	104.91	27.40	25.55
2040-2050	104.91	79.08	19.39	14.62

Sources: The authors, based on official data from EPE.

Figure 3 – Short, medium and long-term LCOEs for onshore wind and solar photovoltaic.



Sources: The authors, based on official data from EPE.

The results are adamant in that both onshore wind and solar photovoltaic energy sources will increase competitiveness over time. The gains in scale of the national and global industry should contribute to the reduction in CAPEX and OPEX costs, lowering investments required to install the same generation capacities. We also note that the simplifying hypothesis of Capacity Factors (CFs) remaining unchanged over time was adopted. However, CFs are also likely to improve with technological advances and the better use of wind towers and photovoltaic cells in energy production (IEA, 2020), leading to higher amounts of electricity production. As result, the competitiveness gains for wind and solar power in Brazil may be even higher than herein estimated.

5. Conclusions and directions for further research

Wind and solar power already constitute strategic energy sources in Brazil and their importance are likely to increase in the next decades, following the global trend of energy transition. Even though Brazil already presents a low-carbon energy matrix, the largest share of energy generation is still attributed to hydraulic sources, which show signs of exhaustion in terms of new installed capacity and are dependent on weather conditions, being subject to climate events such as droughts. With diversification as a goal to be followed in energy expansion policies, renewable alternatives should play a central role in this process. This article aimed to demonstrate, with official data and reasonable estimates, at which pace and how the cost competitiveness of onshore wind and solar photovoltaic sources should evolve in Brazil, thus providing important insights for investors and other stakeholders, who may balance the estimates herein provided in their decisions.

In the short-term, the levelized costs of some traditional energy sources are still lower than those observed for wind and solar power in Brazil. Sugar cane biomass is currently considered to be the most cost-competitive energy source from the viewpoint of the LCOE, followed by the solar photovoltaic and the natural gas (combined cycle power plants). Onshore wind ranks fourth, outperforming hydraulic sources, coal, and nuclear power.

The situation is expected to change considerably in the medium and long-term. Wind and solar power will become considerably more competitive thanks to several technological advances and the

gains of scale. From the short to the medium term, solar PV should benefit from a drop of almost 44% in its LCOE and another 25% reduction from the medium to long term. This would result in a decrease of approximately 58% until 2050. Onshore wind, in turn, is likely to experience a 32% decrease in its levelized costs from the short to the medium term and another 7% decrease from the medium to the long term. Therefore, by 2050, the costs are likely to decrease by approximately 36% considering the current cost levels.

The results suggest that alternative renewable sources in Brazil are likely follow the global trend towards considerable gains in competitiveness over the years. With the threat of global warming and the need to invest in environmentally friendly sources, coupled with the exhaustion of traditional hydro sources in Brazil, wind and solar energy are likely to increase considerably in importance, bringing diversification, and ensuring security of supply in the energy matrix.

Finally, some improvements can be pointed out for future studies. Firstly, it is worth noting that although studies based on LCOE can be useful in comparing competitiveness among energy sources, investors and policy makers should keep in mind their limitations, balancing other factors in decision making. For instance, geographic, regulatory, and public acceptance conditions are also important factors and may be critical in some cases. Another important point, which may stimulate greater interest in investing in clean technologies, is the pricing of environmental impacts. With increasing global environmental concerns, firms and regulators should estimate the 'environmental risk' of investing in carbon intensive technologies, which would result in greater competitiveness gains for renewable sources such as wind and solar power.

References

- BRAZILIAN CENTRAL BANK (BCB). *Focus - Relatório de Mercado*. Available at: <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus/04022022>. Access on: 10/02/2022.
- CENTRO BRASILEIRO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS (CEBRI). *Tendências e Incertezas da Transição Energética no caso brasileiro*. Rio de Janeiro: CEBRI, 2021. Available at: <https://cebri.org.br/doc/228/tendencias-e-incertezas-da-transicao-energetica-no-caso-brasileiro>. Access on: 27/01/2022.
- DE OLIVEIRA, Erick Meira; CYRINO OLIVEIRA, Fernando Luiz. Forecasting mid-long term electric energy consumption through bagging ARIMA and exponential smoothing methods. In: *Energy*, nº. 144, 2018, pp. 776–788.
- DOS REIS, Max Mauro Lozer; MAZETTO, Bruno Mitsuo; DA SILVA, Ezequiel Costa Malateaux. Economic analysis for implantation of an offshore wind farm in the Brazilian coast. In: *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, nº. 43, 2021, pp. 100955.
- EFFIOM, S. O.; NWANKWOJIKE, B. N.; ABAM, F. I. Economic cost evaluation on the viability of offshore wind turbine farms in Nigeria. In: *Energy Reports*, nº. 2, 2016, pp. 48–53.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Plano Nacional de Energia 2050*. Brasília: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 30/01/2022.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021*. Brasília: EPE, 2021a. Available at: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Access on: 15/02/2022.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Plano Decenal de Energia 2030*. Brasília: EPE, 2021. Available at: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2030>. Access on: 30/01/2022.
- GUIMARÃES, Leonam dos Santos. *O Custo Nivelado da Eletricidade e seu Impacto na Transição Energética*. Rio de Janeiro: IBRE/FGV, 2019. Available at: <https://fgvenergia.fgv.br/opinioes/o-custo-nivelado-da-eletrociadade-e-seu-impacto-na-transicao-energetica-0>. Access on: 30/08/2021.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). World Energy Outlook 2020. Paris: IEA, 2020a. Available at: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>. Access on: 15/01/2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Projected Costs of Generating Electricity 2020. Paris: IEA, 2020b. Available at: <https://www.iea.org/reports/projected-costs-of-generating-electricity-2020>. Access on: 30/01/2022.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). *Renewable Power Generation Costs*. Abu Dhabi: IRENA, 2019. Available at: <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>. Access on: 29/01/2022.

INFOMONEY. *Cotações - Juros Futuros*. Available at: <https://www.infomoney.com.br/ferramentas/juros-futuros-di/>. Access on: 11/02/2022.

JOHNSTON, Barry; FOLEY, Aoife; DORNA, John; LITTLER, Thimothy. Levelized cost of energy: A challenge for offshore wind. In: *Renewable Energy*, nº. 160, 2020, pp. 876–885.

MEIRA, Erick; CYRINO OLIVEIRA, Fernando Luiz; DE MENEZES, Lilian M. Point and interval forecasting of electricity supply via pruned ensembles. In: *Energy*, nº. 232, 2021, pp. 121009.

MEIRA, Erick; CYRINO OLIVEIRA, Fernando Luiz; DE MENEZES, Lilian M. Forecasting natural gas consumption using Bagging and modified regularization techniques. In: *Energy Economics*, nº. 106, 2022, pp. 105760.

OLIVEIRA, Erick Meira de. *Corporate social responsibility and firm performance: A case study from the Brazilian electric sector*. Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro (PUC-Rio), Rio de Janeiro, Brazil. Available at: <https://doi.org/10.17771/PUCRio.acad.25647>. Access on: 15/01/2022.

US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). *Levelized Costs of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2021*. Washington, D.C.: EIA, 2021. Available at: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf. Access on: 28/01/2022.

O Potencial de Contribuição do Gás Natural para o Suporte à Segurança Energética na Amazônia Brasileira

*The Contribution Potential of Natural Gas to
Support Energy Security in the Brazilian Amazon*

Gabriel Lobato Cardoso¹
Colombo Celso Gaeta Tassinari²

Sumário: 1. Introdução. 2. Eletricidade na Amazônia. 2.1. Insegurança Energética. 2.1.1. Na Geração Hidrelétrica. 2.1.2. Pela Carência de Sistemas de Retaguarda. 2.2. Oferta de Gás Natural e Geração Termelétrica. 2.2.1. Bacia do Amazonas. 2.2.2. Aproveitamento do Potencial Termelétrico. 3. Materiais e Métodos. 4. Gás Natural e seus Aspectos no Suporte à Segurança Energética na Amazônia. 5. Considerações Finais. Agradecimentos. Referências.

Resumo: o presente artigo tem como objetivo a sugestão e discussão do aproveitamento do gás natural para a geração termelétrica como alternativa de suporte à hidreletricidade na Amazônia Brasileira, com base na insegurança energética regional relacionada às periódicas instabilidades nos reservatórios hídricos, oriundas de variações climáticas e limitações estruturais, e à baixa diversificação de fontes em sua matriz elétrica, compreendendo, ainda, a crise no fornecimento elétrico ocorrida no estado do Amapá em 2020 – relacionada a carência de sistemas de retaguarda para o abastecimento elétrico na Região Norte do Brasil no contexto do Sistema Interligado Nacional (SIN). Sendo esta região produtora de gás natural e com perspectivas para ampliação de oferta, vistas as indicações de áreas prospectivas para recursos convencionais e não convencionais na Bacia do Amazonas, apresenta-se a possibilidade de direcionamento deste potencial para a geração termelétrica, diante dos atuais incentivos para a reativação de operações em bacias terrestres e para o fortalecimento de um mercado competitivo de gás no país, bem como pela expansão do parque termelétrico nacional via aprimoramentos normativos, com a instalação de novas usinas na região a partir de iniciativas público-privadas. Além do suporte à geração hidrelétrica, a consolidação da termeletricidade via gás natural na Amazônia Brasileira tende a impulsionar o desenvolvimento econômico local, fortalecendo a diversificação da matriz elétrica e proporcionando um relativo retorno socioambiental, dada a alternativa para as restrições de infraestrutura das hidrelétricas e substituição de combustíveis fósseis mais intensivos em emissões de gases do efeito estufa na produção de eletricidade.

Palavras-chave: Amazônia; Segurança Energética; Gás Natural; Termeletricidade; Amapá.

Abstract: this paper aims to suggest and discuss the use of natural gas for thermoelectric generation as an alternative to support hydroelectricity in the Brazilian Amazon, based on regional energy insecurity related to periodic instabilities in hydroelectric reservoirs, arising from climatic variations and structural limitations, and the low diversification of sources in its electricity matrix, including the crisis in electricity supply that occurred in the state of Amapá in 2020 – related to the lack of back-up systems for electricity supply in the Northern Region of Brazil in the context of the Interconnected National Sys-

¹ Mestrando em Ciências da Energia, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, gabriellobato@usp.br.

² Doutor em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, ccgtassi@usp.br.

tem (SIN). As this region is a producer of natural gas and has prospects for expansion of supply, given the indications of prospective areas for conventional and unconventional resources in the Amazon Basin, there is a possibility of directing this potential for thermoelectric generation, given the current incentives for the reactivation of operations in onshore basins and for the strengthening of a competitive gas market in the country, as well as for the expansion of the national thermoelectric park through regulatory improvements, with the installation of new plants in the region based on public-private initiatives. In addition to supporting hydroelectric generation, the consolidation of natural gas thermoelectricity in the Brazilian Amazon tends to boost local economic development, strengthening the diversification of the electricity matrix and providing a relative socio-environmental return, given the alternative to the infrastructure restrictions of hydroelectric plants and replacement of fossil fuels more intensive in greenhouse gas emissions in the production of electricity.

Keywords: Amazon; Energy Security; Natural Gas; Thermoelectricity; Amapá.

1. Introdução

O presente artigo objetiva a apresentação e discussão da geração de eletricidade via gás natural como suporte ao abastecimento hidrelétrico na Amazônia Brasileira, dada sua crescente atratividade para a segurança energética da Região Norte do país (RABELLO; COIMBRA, 2020) por meio de incentivos públicos e privados, além de seus possíveis desdobramentos socioeconômicos e ambientais para uma região historicamente fragilizada por políticas energéticas incompatíveis com seu potencial, visto que, ainda que responsável pelo maior volume de exportação de eletricidade dentro do SIN (EPE, 2020a), a Amazônia permanece carente quanto a eletrificação interna (DI LASCIO; BARRETO, 2009).

A priorização de grandes projetos de geração hidrelétrica contribuiu para que outras fontes figurassem como coadjuvantes no cenário energético amazônico, com destaque para o gás natural, responsável por operações de baixo carbono em um contexto de transição energética segura para fontes ambientalmente mais sustentáveis e de racionalização da oferta de energia (BP, 2020; GOLDEMBERG; MOREIRA, 2005). A Amazônia Brasileira é produtora de gás natural nas bacias do Solimões e do Amazonas (EPE, 2019; ANP, 2021) – sendo esta última abordada com maiores detalhes no presente artigo em função de seus prospectos para gás convencional e não convencional, seu atual processo de reativação de campos de E&P (CARDOSO, 2019; ANP, 2021; 2020) e sua localização atrativa para potenciais consumidores termelétricos.

O aproveitamento deste potencial, além de incentivar um desenvolvimento socioeconômico, tecnológico, industrial e ambientalmente mais sustentável e adequado ao panorama regional, vistos os intensos impactos socioambientais oriundos da construção de barragens nos rios da região e a oportunidade de substituição da geração elétrica baseada em combustíveis de alto teor de carbono (FEARNSIDE, 2016 ; LUCZYNSKI, 2013), atenderia a sistemas de retaguarda energética durante crises como a ocorrida em 2020 no Amapá, reflexo de inconsistências na cadeia de fornecimento de energia elétrica para o estado (FRABETTI, 2020). Neste contexto, o presente artigo propõe e discute a possibilidade de aproveitamento do potencial amazônico para gás natural no suporte ao abastecimento hidrelétrico, proporcionando, ainda, suprimento à sistemas termelétricos de retaguarda, de modo a amenizar a insegurança energética regional.

2. Eletricidade na Amazônia

2.1. Insegurança Energética

2.1.1. Na Geração Hidrelétrica

A produção de eletricidade por meio de hidrelétricas vem apresentando constantes oscilações no Brasil – sobretudo, na Amazônia e durante os períodos de estiagem (HUNT; FREITAS; JUNIOR, 2016) – motivando o Sistema Interligado Nacional (SIN) a adotar uma rede de geração hidrotérmica compartilhada com um, ainda, baixo número de termelétricas flexíveis movidas a gás natural, acionadas periodicamente visando a garantia de suprimento energético para a região. Esta imprevisibilidade na geração hídrica pode ser atribuída a dois elementos: a) a queda no aproveitamento de reservatórios em usinas já existentes, por fatores técnicos ou climáticos, e b) a limitação de infraestrutura em projetos futuros ou em execução, dados seus impactos socioambientais.

Para o primeiro, Goldemberg (2015) indica uma queda acentuada na geração hidrelétrica desde 2011, oriunda do esgotamento dos reservatórios localizados no Sudeste do país e da dependência do equilíbrio pluviométrico e da capilaridade dos rios amazônicos em projetos na Região Norte, já que o volume armazenado cresce no período chuvoso, mas decai rapidamente ao final de cada ano (GOLDEMBERG, 2015). Em paralelo, Prates e Rodrigues (2020) destacam a redução na produção dos reservatórios hidrelétricos por contínuas readequações técnicas para mitigação de implicações socioambientais, a exemplo da Usina de Belo Monte, na Bacia do Rio Xingu, no Pará. Além disto, Costa (2020a) salienta a instabilidade climática para a gestão dos recursos hídricos brasileiros, cuja maior frequência de períodos de escassez, somada as questões ambientais relativas à construção de usinas na Amazônia, tende a comprometer a geração de energia elétrica.

Quanto ao segundo, Fearnside (2019) e Porto (2021) enumeram os principais limitantes para a construção de novas usinas hidrelétricas na Amazônia como: a inundação territorial e o reassentamento de aglomerados urbanos e rurais pela construção de barragens, com a consequente perda de áreas produtivas, os impactos às jusantes e às montantes dos rios, com prejuízos às comunidades indígenas adjacentes, a contaminação por mercúrio derivada da mineração de ouro nas cercanias dos reservatórios, a interconexão entre barragens em um mesmo rio, reduzindo seu volume de vazão natural, além das alterações climáticas intensificadas pela derrubada de grandes áreas de mata virgem, refletindo em desequilíbrios como estiagens e inundações extremas, e pela produção de Gases do Efeito Estufa (GEE) nas camadas de água estratificadas nos reservatórios.

2.1.2. Pela Carência de Sistemas de Retaguarda

Ferraz Júnior (2020) e Melo e Lomba (2021) apontam a carência de sistemas auxiliares ou de retaguarda (*back-up*) na geração e distribuição elétrica e a ausência de manutenções periódicas nos equipamentos existentes como fatores contribuintes para o cenário de insegurança energética, visto que aparato termelétrico presente na Amazônia brasileira – ainda que integrante dos conjuntos de sistemas isolados e interligados ao SIN (MELO; LOMBA, 2021) – não é o suficiente para a salvaguarda de abastecimento em conjunturas de interrupção abrupta de fornecimento (PORTO; SUPERTI; BENTES, 2021).

Tal fragilidade obteve exposição em novembro de 2020 com o “apagão” ocorrido no estado do Amapá, após um incêndio seguido por uma explosão na subestação mais importante do estado (PORTO; SUPERTI; BENTES, 2021), pertencente a *holding* Gemini do grupo espanhol Isolux Corsán, após a queda de um raio durante uma forte chuva, comprometendo totalmente o transformador 1 e

parcialmente os transformadores 2 e 3 das Linhas Macapá de Transporte de Energia (LMTE) (GOMES et al., 2021; PAMPLONA, 2020), atingindo 13 das 16 cidades do estado e deixando cerca de 765 mil pessoas sem acesso à energia elétrica por 22 dias (GOMES et al., 2021; G1, 2020).

Frabetti (2020) destaca o consequente desligamento automático das usinas hidrelétricas de Coaracy Nunes, Cachoeira Caldeirão e Ferreira Gomes, localizadas na bacia do Rio Araguari, como contribuinte para o colapso urbano na região, indicando o agravamento da calamidade como consequência da falta de supervisão e controle adequado por parte do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (FRABETTI, 2020; MELO; LOMBA, 2021), dado que a administração da subestação buscava, há cerca de 2 meses, uma equipe para manutenção técnica dos transformadores, fato este conhecido pelo ONS e indicativo de potenciais falhas (COSTA, 2020b). Em janeiro de 2021, o relatório final elaborado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) notificou o ONS e o grupo Isolux Corsán a prestarem os devidos esclarecimentos sobre o ocorrido (CASTRO, 2021).

Nesta conjuntura, Frabetti (2020) e Carneiro, Lima e Porto (2021) apontam os desdobramentos sociais, econômicos e políticos para o Amapá, como a interrupção no fornecimento de água potável, suspensão de atendimentos em Unidades Básicas de Saúde e hospitais, intensificação de protestos por soluções emergenciais e da repressão policial, prejuízos para os setores populacionais mais carentes do estado, com perda de gêneros alimentícios pela falta de conservação em temperatura adequada, e o adiamento dos pleitos municipais pelo Tribunal Superior Eleitoral (TSE), todos estes entrelaçados a disseminação viral provocada pela pandemia de COVID-19 (CARVALHO; CARVALHO, 2021).

Ainda que este acontecimento tenha origem em falhas na distribuição de energia – não em sua oferta – a existência de sistemas de retaguarda, como levantado por Ferraz Júnior (2020), auxiliaria na contenção de danos em crises do tipo. Assim, o gás natural surge como eventual opção para a construção de um sistema energético mais seguro para a Amazônia Brasileira, balanceando a geração térmica com a hidrelétrica, visto suas vantagens relacionadas a disponibilidade regional do recurso, menores emissões de poluentes dentre os combustíveis fósseis, precificação atrativa em relação a outras fontes e seu fornecimento contínuo (SANTOS; PEYERL; NETTO, 2020).

2.2. Oferta de Gás Natural e Geração Termelétrica

2.2.1. Bacia do Amazonas

É uma bacia sedimentar *onshore* de nova fronteira exploratória localizada entre os estados do Amazonas, Pará e Amapá (EPE, 2019); seu primeiro poço com comprovação de ocorrência de gás natural data de 1930, a partir da sondagem nº 88 realizada sob o comando do geólogo Pedro de Moura – precursor na descoberta de hidrocarbonetos na região – em Itaituba, no vale do Rio Tapajós (EIRAS, 2011). Após a criação da PETROBRAS, a exploração nesta bacia foi dividida em 3 fases: entre 1953 e 1967, de 1971 a 1990 e a partir de 1999 (DIGNART; VIEIRA, 2008).

Nesta última, deu-se a declaração de viabilidade econômica para a exploração e produção de dois campos gasíferos nos reservatórios areníticos da Formação Nova Olinda: a) o campo de Azulão, em 1999, com as descobertas de gás e condensado, e b) o campo de Japiim, em 2001, com indícios de gás não associado (DIGNART; VIEIRA, 2008; ANP, 2014). Com sua comercialização efetivada em 2009 (EIA, 2013), a bacia conta, atualmente, com a Refinaria Isaac Sabbá (REMAN), o Terminal Aquaviário de Manaus, o Gasoduto Urucu-Coari-Manaus, para o escoamento da produção da província de Urucu (Bacia do Solimões) e redes de transmissão elétrica efetivas e previstas (EPE; 2019), além de reservas certificadas no campo de Azulão em torno de 3,6 bilhões de m³ (POPOLO, 2020).

Ademais, EIA (2013) aponta uma área prospectiva na Formação Barreirinha para gás em folhelho (*shale gas*), com estimativas de cerca de 8.444 km² para gás úmido e condensado e 116.265 km² para gás seco. Neste sentido, Caputo (2010) e Oliveira (2015) correlacionam o *play* para gás não convencional da Formação Barreirinha à campos com sucesso exploratório nos Estados Unidos, considerando a baixa permeabilidade da rocha geradora, associada a variações na maturação termal, para a indicação de janelas para gás em folhelho nas adjacências do Rio Tapajós e entre os rios Xingu e Pará, no estado do Pará (CARDOSO, 2019; CAPUTO, 2010).

Baseando-se neste contexto, os indicativos para gás natural convencional e não convencional, aliados as necessidades energéticas da Amazônia nos cenários local e nacional, tendem a estimular mudanças quanto a percepção do aproveitamento deste recurso voltado ao desenvolvimento regional (SAUER, 2003), refletidas no planejamento e implementação de medidas para a expansão e consolidação do parque termelétrico amazônico – abastecido via fontes internas, por meio de alternativas tradicionais, como os modais rodoviário, ferroviário e hidroviário (LUCZYNSKI, 2013), quanto por novas tecnologias para a monetização de campos marginais em bacias de fronteira, como a *reservoir-to-wire* (ANDREI; SAMMARCO, 2017).

2.2.2. Aproveitamento do Potencial Termelétrico

As recentes integrações entre estratégias públicas e privadas orientam para uma consolidação da cadeia do gás natural voltada à geração termelétrica no Brasil, incluindo, efetivamente, a Amazônia. Dentre as iniciativas públicas, destaca-se o Novo Mercado de Gás, instituído pela Resolução nº 16/2019 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) para a abertura, dinamismo e livre concorrência de um mercado de gás no país (GOMES, 2019; MME, 2020a), considerando o aproveitamento da capacidade ociosa de gasodutos, venda de ativos do *downstream* à iniciativa privada, independência dos agentes da cadeia do gás e criação e fortalecimento de agências reguladoras estaduais (SZYFMAN; MILHORANCE, 2019).

Esta política vem ao encontro da Revitalização das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Áreas Terrestres (REAT), fruto da Resolução nº 27/2019 do CNPE para a reativação do *upstream* em bacias *onshore* por meio da disponibilização de dados públicos para elaboração de pesquisas, novos mapeamentos geológicos e geofísicos em bacias potenciais, boas práticas para o licenciamento ambiental, revisões, simplificação e consolidação de atos regulatórios, atratividade de investimentos para fronteiras exploratórias e monetização de gás natural em terra (MME, 2020b).

Há, ainda, incentivos públicos oriundos: a) do processo de capitalização das Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRAS), com a designação de pesquisa e desenvolvimento das reservas provadas de gás natural na Amazônia (BRASIL, 2021a), e b) da perspectiva de expansão do parque termelétrico nacional pela oferta de gás a baixo custo e aprimoramentos normativos (EPE, 2021), impulsionados pelas diretrizes do Marco Regulatório do Gás Natural para a desburocratização da cadeia do gás no país (BRASIL, 2021b); somando-se a adoção compulsória de termelétricas a gás regionais e inflexíveis nos leilões de energia, como um reforço ao sistema de transmissão de retaguarda na Região Norte e à interiorização do gás natural (RABELLO; COIMBRA, 2020).

Vale destacar que o conjunto destas matérias integram as análises do Ministério de Minas e Energia (MME) em cenários de planejamento energético nos horizontes decenais de 2029 e 2030, via estudos de competitividade e limitantes para a inflexibilidade termelétrica (EPE, 2020b). Neste sentido, tem-se a inclusão no cronograma de Leilões de Energia Nova para o triênio 2021-2023, pelo MME, da previsão de competitividade para empreendimentos termelétricos sem restrições de limite de infle-

xibilidade operativa, por meio da Portaria nº 435/2020 (BRASIL, 2020b), compreendendo o escopo de medidas designadas pelo Novo Mercado de Gás para suporte ao SIN.

No compasso das políticas públicas, observa-se o fomento à projetos termelétricos privados para o atendimento das necessidades energéticas amazônicas, como na autorização, pelo MME, e na concessão de licença de instalação, pelo Governo do Pará, para a construção e operação da termelétrica Novo Tempo Barcarena, na cidade de Barcarena, pelas Centrais Elétricas de Barcarena (CELBA) em associação a norueguesa Golar Power e a brasileira Evolution Power Partners (EPP), após o arremate efetuado no Leilão de Energia Nova A-6 de 2019 (BRASIL, 2020c; NUNES, 2020; REUTERS, 2019).

A futura central terá capacidade instalada de 604,5 MW e será abastecida, em primeiro momento, por volumes de GNL importados da Bahia, Sergipe e Bolívia (AGÊNCIA INFRA, 2020), viabilizados pela construção de um terminal de regaseificação interligado a um gasoduto de 20 polegadas e a uma *floating storage regasification unit* (FSRU), autorizados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (BRASIL, 2020d); tal terminal corrobora com os indicativos de EPE (2018) para a construção de infraestrutura similar no Porto de Vila do Conde, também em Barcarena.

Além de integrar a sequência de medidas para o incentivo do uso do gás natural como insumo à termeletricidade na Amazônia Brasileira, este projeto permite, ainda, a construção *in situ* de FSRU para o aproveitamento da rede hidrográfica regional no transporte e distribuição de GNL (ESTALEIRO RIO MAGUARI, 2019), resultando na implantação de uma infraestrutura inédita na Região Norte do país, que objetiva contornar sua falta de cobertura pela malha de gasodutos conectada ao Gasoduto Bolívia-Brasil.

Em paralelo, a empresa ENEVA avalia a possibilidade de reprodução do modelo de negócios *reservoir-to-wire* para a Bacia do Amazonas com base nos retornos econômicos das operações no Parque dos Gaviões, na Bacia do Parnaíba (CANÇADO, 2017), considerando a reativação do campo de Azulão, em 2021, e a expectativa de construção de um novo modal logístico na cadeia regional do gás natural (ANP, 2021; SALGADO; COUTO, 2020; ENEVA, 2020). Para isto, Popolo (2020) destaca o eventual aporte deste sistema à Termelétrica de Jaguatirica II, em Roraima – atendida, atualmente, por GNL em pequena escala – a fim de garantir sua segurança energética, reduzindo a dependência de importações de eletricidade e integrando o estado ao SIN.

3. Materiais e Métodos

Com base em seu caráter introdutório e de cuinho exploratório, o presente artigo está baseado em revisões sistematizadas de literaturas especializadas, compreendendo trabalhos acadêmicos e periódicos científicos e jornalísticos para a posterior discussão da tese a respeito da contribuição do gás natural para a segurança energética na Amazônia, a partir dos itens levantados, e apresentação das considerações e de possíveis recomendações. A concepção, planejamento e produção deste artigo ocorreram entre novembro de 2020 e dezembro de 2021, de modo a contemplar a maior parte da bibliografia produzida no período, para efeito de uma argumentação consistente e atualizada.

A estrutura da revisão de literatura voltada aos aspectos da eletricidade na Amazônia advém da formação de sua base de dados, ambas composta por dois eixos: a) o problema (a insegurança energética na Amazônia) e b) a proposição (a oferta de gás natural e sua aplicação na geração termelétrica). Deste modo, para o primeiro eixo, a base de dados compreende artigos científicos publicados em periódicos de certificação CAPES, livros, dissertações de Mestrado e matérias jornalísticas distribuídas em formato eletrônico.

No segundo eixo, agregam-se trabalhos de conclusão de curso, literaturas em periódicos acadêmicos especiais, apresentações para eventos empresariais, relatórios e planejamentos energéticos

institucionais (brasileiros e internacionais), Leis, portarias ministeriais e autorizações veiculadas no Diário Oficial da União e artigos jornalísticos publicados eletronicamente. Ao todo, foram selecionadas 58 bibliografias produzidas entre 2003 e 2021, determinando a compartimentação das discussões sobre o potencial de contribuição do gás natural para a Amazônia Brasileira nos campos energético, socioeconômico e ambiental.

4. Gás Natural e o seus Aspectos no Suporte à Segurança Energética na Amazônia

Os indicativos de áreas prospectivas para gás natural na Amazônia e as políticas voltadas à sua expansão e fortalecimento no Brasil – como energético seguro, acessível, economicamente viável e de infraestrutura compacta, quando comparada a de grandes hidrelétricas – tendem a favorecer sua utilização na Amazônia Brasileira como insumo à termeletricidade, viabilizando ao SIN um *back-up* de fornecimento elétrico para a mitigação do decaimento de produção em usinas hidrelétricas e de interrupções abruptas, como a observada no Amapá, e incentivando a descentralização e interiorização da geração e acesso à energia por meio do aproveitamento e socialização da riqueza energética local.

Neste sentido, destacam-se a necessidade do entendimento das especificidades da região em relação ao resto do país, para a promoção de um atendimento energético eficiente, e da aplicação de salvaguardas conforme o atual paradigma da indústria dos combustíveis fósseis: o desenvolvimento de novas explorações associado ao respeito dos limites físicos do planeta. Para tal, nota-se que as diretrizes do Novo Mercado de Gás, em conjunto aos cenários pós-pandemia descritos no PDE 2030, dispõem de ferramentas e reflexões para que tais pontos sejam elucidados e debatidos de maneira pertinente.

Além disso, o REATE e a capitalização da ELETROBRAS oportunizam o incremento na oferta de gás natural na Amazônia, reduzindo, ainda, a dependência termelétrica de suprimentos importados de GNL e abrindo precedentes para sistemas em ciclos fechados, nos quais o recurso local é direcionado para a geração de eletricidade na própria região, seja para conjunturas ou zonas de abastecimento deficitário. Vale destacar que, ainda que o presente estudo foque no aproveitamento dos recursos alocados a Bacia do Amazonas (dados seu potencial e as iniciativas públicas e privadas), a região também apresenta recursos para gás natural nas bacias do Solimões e da Foz do Amazonas.

Concomitantemente, o uso do gás natural para a termeletricidade na Amazônia deve contemplar retornos energético, social, econômico e ambiental para a região. No contexto energético, além de incentivar a construção de um sistema de retaguarda para o SIN e Sistemas Isolados, a expansão do parque termelétrico ampliaria a diversificação da matriz elétrica amazônica, constituindo um pilar para um mercado de gás atrativo e possibilitando sua aplicação em nichos representativos para verticalização da cadeia produtiva, como na cogeração para as indústrias siderúrgicas e de mineração instaladas na Amazônia – as quais fazem uso energeticamente irracional da hidreletricidade e do aquecimento via carvão em atividades energointensivas.

Este cenário tende a alavancar, também, a atração de diferentes indústrias para a Região Norte, como observada na instalação da ENEVA para a reativação do campo de Azulão e prospecção de novos campos de gás na Bacia do Amazonas, bem como na construção e operação da termelétrica Novo Tempo Barcarena pela CELBA. Somando-se a isto, há a competitividade do gás natural frente as fontes alternativas – sensibilizadas pela variabilidade climática amazônica, carência de produção nacional de tecnologia, pelos riscos técnicos associados ao seu manejo e manutenção inadequados e impactos socioambientais durante seu ciclo de vida.

Do ponto de vista socioeconômico, empreendimentos termelétricos propendem a estimular a geração de empregos e a formação de *know-how* local, impulsionando o desenvolvimento da população amazônica frente a histórica visão endocolonialista para com a região, estigmatizada como

fornecedor de insumos de baixo valor agregado para o Brasil e exterior em desfavor da necessidade de promoção do crescimento socioeconômico de seus habitantes – visto que a região apresenta alta concentração de municípios com baixo Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), reforçando a dualidade social brasileira entre diferentes regiões.

No caráter ambiental, o aproveitamento de sistemas termelétricos a gás desponta como alternativa de contorno a limitação territorial imposta aos reservatórios das hidrelétricas amazônicas, como a Usina de Belo Monte, cuja construção, mesmo após seguidas modificações no projeto piloto, resultou em conflitos fundiários, realocação de comunidades tradicionais e impactos a fauna e flora, prejudicando as populações subsistentes dos ecossistemas. Ao ocupar uma área relativamente menor, as termelétricas podem garantir o suporte às hidrelétricas por suprimentos de gás via FSU ou, ainda, pela interligação direta com plantas de produção de gás natural, conforme projetado para abastecimento de Roraima a partir de infraestruturas existentes e em planejamento – considerando a possibilidade de introdução da tecnologia *reservoir-to-wire*.

Destaca-se, também, o potencial do gás natural para operações de baixo carbono dentre os combustíveis fósseis, possibilitando a Amazônia um salto tecnológico para uma janela de transição energética segura para combustíveis menos poluentes, mais eficientes e regionalmente acessíveis, visto que comunidades ribeirinhas carentes permanecem fazendo uso de fontes intensivas e ineficientes para a geração de eletricidade, como o óleo diesel. O desenvolvimento técnico para a geração termelétrica possibilita, hoje, o fornecimento de energia com a redução de consumo de gás para tal, fomentando tanto o aumento de eficiência energética quanto de conservação ambiental.

5. Considerações Finais

A Região Amazônica, além de sua exuberância ambiental, comprehende recursos energéticos capazes de garantir a segurança no seu abastecimento elétrico, em um momento de queda na geração hidrelétrica e de constantes interrupções de fornecimento, sejam por eventos naturais ou por negligências dos entes responsáveis os quais, quando associados, resultam em graves crises sociais, como a ocorrida no Amapá. Neste contexto, destaca-se a potencialidade do gás natural e sua utilização na termeletricidade como proposta de construção de um sistema de *back-up* energético adaptado à realidade local, visto a atual insuficiência de suporte por meio de fontes alternativas.

As possibilidades decorrentes de políticas energéticas, como o Novo Mercado de Gás e o REATE, estimulam o planejamento de futuras campanhas exploratórias regionais, como na Bacia do Amazonas, com base em seus prospectos para recursos convencionais e não convencionais. Tais estímulos, somados aos recentes incentivos institucionais voltados à expansão do parque termelétrico amazônico e a sua operação sem limitação de inflexibilidade, reforçam a atratividade do gás natural para a Amazônia Brasileira.

Constata-se, também, que este suporte à geração hidrelétrica tende a incentivar o desenvolvimento socioeconômico da população amazônica, com a instalação de empreendimentos geradores de postos de trabalho e indutores de qualificação profissional, bem como pela possibilidade de construção de um mercado de gás regional, com capacidade de expansão para segmentos industriais como o siderúrgico e minerador, estimulando a transformação do modelo econômico regional de exportação de matéria-prima para o de fabricação de produtos de maior valor agregado.

Para o meio ambiente, verifica-se a alternativa frente a impactação territorial proveniente dos reservatórios necessários para a operação de novas usinas hidrelétricas, dadas as características morfológicas do relevo amazônico, e no deslocamento de utilização, na geração de eletricidade, de fontes fósseis intensivas na emissão de GEE para um energético menos poluente e mais eficiente,

auxiliando no alcance de um patamar mais elevado no conceito de escada energética. Vale destacar, ainda, a competitividade do gás natural frente as fontes alternativas na Amazônia, visto o baixo grau de cobertura e de incentivos voltados às mesmas.

Enfatiza-se que a discussão da possibilidade de incremento da segurança energética amazônica pelo uso do gás natural na termeletricidade se dá em caráter sugestivo, vista a necessidade de maiores estudos voltados a verificação de viabilidade técnica, econômica e de impactos ambientais, dadas as características potenciais e restritivas da região e aos reflexos socioeconômicos e na demanda de energia resultantes da pandemia de COVID-19. Esta pesquisa fornece o impulso para o entendimento das oportunidades e desafios presentes no cenário energético amazônico, no objetivo de viabilizar estudos os quais explorem o desenvolvimento energético, via gás natural, aliado aos retornos socioeconômico e ambiental para a Amazônia Brasileira.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

AGÊNCIA INFRA. Térmica a gás natural em Barcarena de R\$1,5 bi é autorizada a iniciar obras em 2022. Agência iNFRA, Distrito Federal, 3 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.agenciainfra.com/blog/termica-a-gas-natural-em-barcarena-de-r-15-bi-e-autorizada-a-iniciar-obras-em-2022/>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Bacia do Amazonas: sumário geológico e setores em oferta. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2015.

_____. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020. Rio de Janeiro, 2020.

_____. Painel Dinâmico de Produção de Petróleo e Gás Natural. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNzVmNzI1MzQtNTY1NC00ZGVhLTk5N2ItNzBkMDNhY2IxZTlxliwidCI6I-jQ0OTImNGZmLTI0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzkxMyJ9>>. Acesso em: 06 jun. 2021.

ANDREI, M.; SAMMARCO, G. Gas to Wire with Carbon Capture & Storage: A Sustainable Way for On-Site Power Generation by Produced Gas. In: ABU DHABI INTERNATIONAL PETROLEUM EXHIBITION AND CONFERENCE, 2017, Abu Dhabi. Resumes. Richardson: Society of Petroleum Engineers, 2017. p. 1-17.

BRASIL. Projeto de Lei nº 4.476, de 4 de setembro de 2020. Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição Federal, e sobre as atividades de escoamento, tratamento, processamento, estocagem subterrânea, acondicionamento, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural. Senado Federal, Brasília, DF, 4 set. 2020a. Disponível em: <<https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=8886700&ts=1612483136671&disposition=inline>> Acesso em: 02 nov. 2020.

_____. Portaria nº 387, de 27 de outubro de 2020. Dispõe sobre a autorização do Ministério de Minas e Energia (MME) às Centrais Elétricas de Barcarena (CELBA) para implantação e exploração da Central Geradora Termelétrica Novo Tempo Barcarena, no Município de Barcarena, Estado do Pará. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 nov. 2020b, Seção 1, p. 462. Disponível em: <<https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=03/11/2020&jornal=515&pagina=462&totaIArquivos=637>>. Acesso em 21 nov. 2020.

_____. Portaria nº 435, de 4 de dezembro de 2020. Dispõe sobre o cronograma do Ministério de Minas e Energia (MME) para Leilões de Compra de Energia Elétrica Proveniente de Novos Empreendimentos de Geração para o triênio 2021-2023. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 dez. 2020c, Seção 1, p. 61. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-435-de-4-de-dezembro-de-2020-292749761>>. Acesso em 5 dez. 2020.

_____. Autorização SIM-ANP nº 934, de 28 de dezembro de 2020. Dispõe sobre a autorização da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis às Centrais Elétricas de Barcarena (CE-LBA) para a construção do Terminal de Regaseificação de Gás Natural Liquefeito (GNL), destinado à Usina Termoelétrica Novo Tempo - UTE, no Município de Barcarena, Estado do Pará. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 dez. 2020d, Seção 1, p. 810. Disponível em: <<https://pesquisa.in.gov.br/impressa/jsp/visualiza/index.jsp?data=29/12/2020&jornal=515&pagina=810>>. Acesso em 10 jan. 2021.

_____. Lei nº 14.182, de 12 de julho de 2021. Dispõe sobre a desestatização da empresa Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras); altera as Leis nºs 5.899, de 5 de julho de 1973, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, 10.848, de 15 de março de 2004, 13.182, de 3 de novembro de 2015, 13.203, de 8 de dezembro de 2015, 14.118, de 13 de janeiro de 2021, 9.648, de 27 de maio de 1998, e 9.074, de 7 de julho de 1995; e revoga dispositivos da Lei nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 jul. 2021a. Disponível em: <<https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.182-de-12-de-julho-de-2021-331549377>>. Acesso em: 04 ago. 2021.

_____. Lei nº 14.134, de 8 de abril de 2021. Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, de que trata o art. 177 da Constituição Federal, e sobre as atividades de escoamento, tratamento, processamento, estocagem subterrânea, acondicionamento, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural; altera as Leis nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 9.847, de 26 de outubro de 1999; e revoga a Lei nº 11.909, de 4 de março de 2009, e dispositivo da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 abr. 2021b. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.134-de-8-de-abril-de-2021-312904769>>. Acesso em: 28 ago. 2021.

BRITISH PETROLEUM (BP). Energy Outlook 2020 Edition. London: British Petroleum, 2020.

CANÇADO, L. L. Reservoir to Wire: Desafios para Replicar o Modelo. Rio de Janeiro: ENEVA S. A., 2017. Apresentação em formato eletrônico.

CAPUTO, M. V. Shale Gas in the Amazon Basin. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., 2010, Belém. Anais do 45º Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2010. p. 343.

CARDOSO, G. L. Discussão sobre a viabilidade de exploração de gás em folhelho na Bacia do Amazonas. 2019. 166 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Geofísica) - Faculdade de Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

CARNEIRO, L. P.; LIMA, T. O.; PORTO, J. L. R. Ordem pública e o apagão no Amapá: os reflexos da perturbação do sistema de energia na segurança pública. Maringá (PR): Uniedusul Editora, 2021. E-book. (De apagão a apagado: ensaios sobre a questão energética amapaense, cap. 6). ISBN 978-65-86010-83-1. Disponível em: <<https://www.uniedusul.com.br/publicacao/de-apagao-a-apagado-ensaio-sobre-a-questao-energetica-amapaense/>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

CARVALHO, J. W. S.; CARVALHO, S. S. C. Consequências jurídicas do apagão elétrico no Amapá. Maringá (PR): Uniedusul Editora, 2021. E-book. (De apagão a apagado: ensaios sobre a questão energética amapaense, cap. 2). ISBN 978-65-86010-83-1. Disponível em: <<https://www.uniedusul.com.br/publicacao/de-apagao-a-apagado-ensaio-sobre-a-questao-energetica-amapaense/>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

CASTRO, A. P. Falhas do ONS e da empresa responsável por subestação levaram a apagão no AP, diz Aneel. G1, Distrito Federal, 11 jan. 2021. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2021/01/11/falhas-do-ons-e-da-empresa-responsavel-por-subestacao-levaram-a-apagao-no-amapa-conclui-aneel.ghtml>>. Acesso em: 27 jan. 2021.

COSTA, J. M. F. Influência do clima sobre as principais fontes renováveis de energia em Portugal e Brasil: passado, presente e futuro. 2020. 222 f. Dissertação (Mestrado em Energias Sustentáveis) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2020a.

COSTA, M. Transmissora do Amapá buscava equipe de manutenção há dois meses. Veja (Radar Econômico), São Paulo, 12 nov. 2020b. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/blog/radar-economico/transmissora-do-amapa-buscava-equipe-de-manutencao-ha-dois-meses/>>. Acesso em: 22 dez. 2020.

DI LASCIO, M. A.; BARRETO E. J. F. Energia e Desenvolvimento Sustentável para a Amazônia Rural Brasileira: Eletrificação de Comunidades Isoladas. Brasília: Kaco Gráfica e Editora Ltda, 2009.

DIGNART, A., VIEIRA, J. R. Décima Rodada de Licitações: Bacia do Amazonas. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), 2008. Apresentação em formato eletrônico.

EIRAS, J. F. Roteiro geológico do vale do rio Tapajós, borda Sul da Bacia do Amazonas, município de Itaituba. Belém: HRT Oil & Gas, 2011. 80 p. Relatório técnico interno.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Informe: terminais de regaseificação de GNL nos portos brasileiros. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2018.

_____. Zoneamento Nacional de Óleo e Gás. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2019.

_____. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2020. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2020a.

_____. Leilões de energia: subsídios para a revisão da limitação de inflexibilidade de usinas termelétricas. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2020b.

_____. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2021.

ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA). Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: Brazil. Washington (DC): U.S. Department of Energy, 2015.

ENEVA S. A. Corporate Presentation. Rio de Janeiro: ENEVA S. A., 2020. Apresentação em formato eletrônico.

ESTALEIRO RIO MAGUARI. Projeto prevê construção de comboios movidos a GNL na Região Norte. Estaleiro Rio Maguari, Pará, 01 fev. 2019. Disponível em: <<http://www.riomaguari.com.br/projeto-preve-construcao-de-comboios-movidos-a-gnl-na-regiao-norte/>>. Acesso em: 21 nov. 2019.

FEARNSIDE, P. M. Environmental and social impacts of hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: Implications for the aluminum industry. World development, v. 77, p. 48-65, 2016.

_____. Impactos das hidrelétricas na Amazônia e a tomada de decisão. Novos Cadernos NAEA, Pará, v. 22, n. 3, p. 69-96, set. 2019.

FERRAZ JÚNIOR. Apagão no Amapá expõe fragilidade no fornecimento de energia. Jornal da USP, São Paulo, 27 nov. 2020. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/?p=372317>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

FRABETTI, G. Fluidez do capital, colapso nas cidades amazônicas: notas sobre a crise energética e humanitária no estado do Amapá. Geografares, Espírito Santo, n. 31, p. 293-308, dez. 2020.

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J. R. Política energética no Brasil. Estudos avançados, v. 19, p. 215-228, 2005.

GOLDEMBERG, J. O estado atual do setor elétrico brasileiro. Revista USP, São Paulo, n. 104, p. 37-44, mar. 2015.

GOMES, I. Novo Mercado e impactos nos preços de gás natural. Caderno Opinião - FGV Energia, Rio de Janeiro, p. 49-54, ago. 2019. Número especial.

GOMES, A. F.; et al. Apagão elétrico no Amapá: uma perspectiva sobre a governança corporativa em crises e conflitos. Maringá (PR): Uniedusul Editora, 2021. E-book. (De apagão a apagado: ensaios sobre a questão energética amapaense, cap. 3). ISBN 978-65-86010-83-1. Disponível em: <<https://www.uniedusul.com.br/publicacao/de-apagao-a-apagado-ensaios-sobre-a-questao-energetica-amapaense/>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

G1. Apagão no Amapá: veja a cronologia da crise de energia elétrica. G1, São Paulo, 18 nov. 2020. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2020/11/18/apagao-no-amapa-veja-a-cronologia-da-crise-de-energia-eletrica.ghtml>>. Acesso em: 27 jan. 2021.

HUNT, J. D.; FREITAS, M. A. V.; JUNIOR, A. O. P. Armazenamento em culturas energéticas: solução para a imprevisibilidade da geração hidrelétrica. Revista Brasileira de Energia, v. 22, n. 2, p. 33-42, 2016.

LUCZYNSKI, E. A Oferta de Gás Natural ao Estado do Pará: uma discussão a respeito de alternativas e dos impactos socioeconômicos. 2013. 33 f. Oficina sobre Insumos Energéticos ao Pará (P&G). Universidade Federal do Pará, Pará, 2013. Nota técnica.

MELO, A. P. C.; LOMBA, R. M. Insegurança energética: os gargalos e limites da oferta de energia no Amapá. Maringá (PR): Uniedusul Editora, 2021. E-book. (De apagão a apagado: ensaios sobre a questão energética amapaense, cap. 7). ISBN 978-65-86010-83-1. Disponível em: <<https://www.uniedusul.com.br/publicacao/de-apagao-a-apagado-ensaios-sobre-a-questao-energetica-amapaense/>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Novo Mercado de Gás. Disponível em: <<http://antigo.mme.gov.br/web/guest/conselhos-e-comites/cmgn/novo-mercado-de-gas>>. Acesso em: 16 dez. 2020a.

_____. Relatório Executivo: Comitê para a Revitalização das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Áreas Terrestres - REATE 2020. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2020b.

NUNES, L. Estado concede licença de instalação para Usina Térmica em Barcarena. Agência Pará, Pará, 03 set. 2020. Disponível em: <<https://agenciapara.com.br/noticia/21928/>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

OLIVEIRA, S. S. Caracterização de Reservatórios Não Convencionais Shale Gas na Formação Barreirinha, Bacia do Amazonas. 2015. 243 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PAMPLONA, N. Relatório mostra falhas antes, durante e após o apagão no Amapá. Folha de São Paulo, Rio de Janeiro, 20 dez. 2020. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/12/relatorio-mostra-falhas-antes-durante-e-apos-apagao-no-amapa.shtml>>. Acesso em: 05 jan. 2021.

POPOLO, D. Desenho de Mercado. In: WORKSHOP GERAÇÃO TERMOELÉTRICA A GÁS NATURAL, Rio de Janeiro: ENEVA S. A., 2020. Apresentação em formato eletrônico.

PORTO, J. L. R. De isolado a integrado: novos usos e funções do território amapaense e o sistema energético nacional. Maringá (PR): Uniedusul Editora, 2021. E-book. (De apagão a apagado: ensaios sobre a questão energética amapaense, cap. 1). ISBN 978-65-86010-83-1. Disponível em: <<https://www.uniedusul.com.br/publicacao/de-apagao-a-apagado-ensaios-sobre-a-questao-energetica-amapaense/>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

PORTO, J. L. R; SUPERTI, E.; BENTES, J. L. Integração do Amapá ao sistema energético nacional: do sistema isolado ao apagão. Santa Maria (RS): Arco Editores, 2021. E-book. (Desenvolvimento Regional: Política, Planejamento e Economia, 1 ed.). ISBN 978-65-00-17045-0. Disponível em: <<https://doi.org/10.48209/978-65-00-17045-0>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

PRATES, C. D.; RODRIGUES, L. P. A Hidrelétrica Belo Monte: da controvérsia sobre energia limpa à produção da “verdade científica”. Ciências Sociais Unisinos, v. 56, n. 1, p. 80-93, 2020.

RABELLO, N.; COIMBRA, L. Debate sobre térmicas a gás inflexíveis ganha fôlego após apagão no Amapá. Agência iNFRA, Distrito Federal, 10 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.agenciainfra.com/blog/debate-sobre-termicas-a-gas-inflexiveis-ganha-folego-apos-apagao-no-amapa/>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

REUTERS. Projeto para térmica de R\$1,5 bi a GNL no Pará prevê fornecer gás à indústria local. Época (Negócios), São Paulo, 30 out. 2019. Disponível em: <<https://epocanegocios.globo.com/Brasil/noticia/2019/10/epoca-negocios-projeto-para-termica-de-r15-bi-a-gnl-no-pará-preve-fornecer-gas-a-industria-local.html>>. Acesso em: 20 dez. 2020.

SALGADO, F.; COUTO, F. ENEVA: expansão movida a gás em 2021. Grupo de Estudos do Setor Elétrico (GESEL-UFRJ), Rio de Janeiro, 15 dez. 2020. Disponível em: <<http://www.gesel.ie.ufrj.br/>>. Acesso em: 03 jun. 2021.

SANTOS, E. M.; PEYERL, D.; NETTO, A. L. A. (Org.). Oportunidades e desafios do gás natural e do gás natural liquefeito no Brasil. 1 ed. São Paulo: São Paulo, 2020.

SAUER, I. L. O papel do gás natural na matriz energética e o seu impacto no desenvolvimento sustentável na Amazônia. In: II FÓRUM DE TEMAS DE INTERESSE DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, Manaus: Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), 2003. Apresentação em formato eletrônico.

SZYFMAN, D.; MILHORANCE, M. Novo Mercado de gás: questões críticas. Caderno Opinião - FGV Energia, Rio de Janeiro, p. 27-32, ago. 2019. Número especial.

Cocção em tempos de pandemia: a retomada no uso da lenha em ambientes domésticos urbanos no brasil

*Cooking in pandemic times: the retake of the use of firewood
in urban domestic environments in brazil*

Gabriel Lobato Cardoso¹

Nicole Moutinho Monteiro²

Sumário: 1. Introdução. 2. Materiais e métodos. 3. Revisão de literatura. 3.1. Aspectos do serviço energético de cocção. 3.2. O uso da lenha para a cocção no Brasil. 3.3. A retomada do uso da lenha em ambientes domésticos urbanos. 4. Conclusão. Bibliografia.

Resumo: O presente trabalho busca compreender, por meio de uma revisão bibliográfica, o significativo aumento do uso da lenha para cocção no Brasil, a partir da apresentação de seus fatores sociais, econômicos, ambientais e energéticos, valendo-se, também, do baixo número de estudos relativos a esse importante assunto, fundamentais para a compreensão das desigualdades atreladas aos combustíveis destinados ao preparo de alimentos. Com a cocção como um serviço energético imprescindível para a alimentação humana, a busca por materiais lenhosos provenientes de catarção surge como a forma mais barata e acessível para a obtenção de fontes de energia para o seu cumprimento. Entretanto, o uso desse recurso implica em sérios problemas à saúde e, além disso, impacta no meio ambiente com a emissão de gases prejudiciais à atmosfera. No Brasil, o alto preço do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) têm sido uma das principais causas da escolha pela lenha, somados aos impactos da pandemia de COVID-19. Neste contexto, pode-se observar a retomada da lenha para a cocção no setor residencial do país no último ano, sobretudo em ambientes urbanos periféricos onde as pessoas apresentam uma vulnerabilidade econômica latente, o que desperta a necessidade para futuros trabalhos voltados a uma melhor compreensão desta retomada e suas implicações para o Brasil.

Palavras-chave: cocção; lenha; pandemia; ambientes domésticos urbanos; energia

Abstract: The present work seeks to understand, through a bibliographic review, the significant increase in the use of firewood for cooking in Brazil, from the presentation of its social, economic, environmental and energetic factors, also seeking to add to this important issue that it has a low number of relative studies, which are fundamental for understanding the inequalities linked to fuels intended for food preparation. With cooking as an essential energy service for human consumption, the search for woody materials from collect emerges as the cheapest and most accessible way to obtain energy sources for its fulfillment. However, the use of this resource implies serious health problems and, in addition, impacts the environment with the emission of harmful gases into the atmosphere. In Brazil, the high price of Liquefied Petroleum Gas (LPG) has been one of the main causes of the choice for firewood, added to the impacts of the COVID-19 pandemic. In this context, it's noticed the retake of firewood for cooking in the residential sector of the country in the last year, especially in peripheral ur-

¹ Mestrando em Ciências da Energia pelo Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, gabriellobatoc@usp.br.

² Mestranda em Ciências da Energia pelo Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, nicolemoutinho@usp.br.

ban environments where people show a latent economic vulnerability, which raises the need for future works aimed at a better understanding about this retake and its implications for Brazil.

Keywords: cooking; wood; pandemic; urban home environments; energy.

1. Introdução

A cocção de alimentos ocupa lugar de destaque dentre os usos finais de energia, dada sua contribuição para o desenvolvimento humano a partir do auxílio aos processos digestivos – com consequentes ganhos de saúde – valendo-se da introdução do uso do fogo entre duzentos mil e cinqüenta mil anos atrás (CARVALHO, 2014). Com o entendimento dos diferentes métodos de transferência de calor, deu-se, ao longo da história, o surgimento e aperfeiçoamento de equipamentos específicos para o cumprimento deste serviço energético, operados a partir de combustíveis diversificados (COLETTI, 2016).

Ao longo desta evolução, a biomassa tradicional esteve presente como uma das principais fontes de energia para a cocção, decorrente da queima direta (combustão) da lenha para a produção de calor e de sua relativa facilidade de obtenção (MACHADO et al., 2015; BARBOSA, 2017), o que reflete, atualmente, em seu predomínio global de utilização em meio aos demais combustíveis para a atividade, com cerca de três bilhões de pessoas fazendo o uso diário de fogões a lenha (GIODA, 2018).

Contudo, a despeito de fatores culturais, o emprego desta fonte pode estar relacionado a disparidades socioeconômicas em economias em desenvolvimento (KOJIMA, 2021), como o Brasil, onde sua aplicação para a cocção se dá, majoritariamente, em regiões de baixos índices de desenvolvimento humano e com altos níveis de desigualdade (COELHO et al., 2018). Com a pandemia de COVID-19, esta relação passou a ser observada, com mais frequência, em espaços urbanos, em consequência de fragilizações econômicas e aumentos de preços que limitaram o acesso a combustíveis mais limpos e eficientes (PRICE, 2021; CNI, 2020).

Partindo deste contexto, o presente trabalho objetiva apresentar a atual retomada no uso da lenha para cocção em ambientes domésticos urbanos no Brasil, baseando-se, ainda, na carência de estudos sobre a utilização da lenha para o cumprimento desse serviço energético no país, o que limita o planejamento de iniciativas para a sua substituição (PASSOS et al., 2016; BARBOSA, 2017), motivada por seus respectivos impactos na saúde humana e para o meio ambiente (REGUEIRA, 2010), relacionando-se, também, com quadros de insegurança energética, socioeconômica e alimentar.

2. Materiais e métodos

O presente artigo consiste em uma pesquisa introdutória, de cunho exploratório, baseada em revisões bibliográficas relacionadas ao uso final da lenha no serviço energético de cocção, com ênfase em sua retomada nos contextos urbanos brasileiros após as recentes instabilidades econômicas entrelaçadas aos impactos da pandemia de COVID-19. Estas revisões de literatura possibilitaram a apresentação da pesquisa nos seguintes eixos: 1) principais aspectos energéticos e socioeconômicos relacionados a cocção; 2) o uso geral da lenha para cocção no Brasil; e 3) sua retomada em ambientes urbanos em decorrência da conjuntura socioeconômica do país.

Para tal, foi desenvolvida uma base de dados com 40 bibliografias, produzidas entre 2007 e 2021, compreendendo artigos publicados em revistas científicas, livros, relatórios técnicos, planejamentos e consolidações de dados institucionais, trabalhos acadêmicos, artigos e apresentações voltadas à eventos científicos, relatórios de entidades internacionais, diretrizes executivas e legislativas, além de registros textuais em periódicos jornalísticos. Vale destacar que, estes últimos, foram levantados exclusivamente para a exposição do atual panorama do uso da lenha para cocção em

ambientes urbanos – como parte do eixo 3 – desconsiderando juízos de valor, de modo a priorizar a análise de obras científicamente qualificadas.

3. Revisão de literatura

3.1. Aspectos do serviço energético de cocção

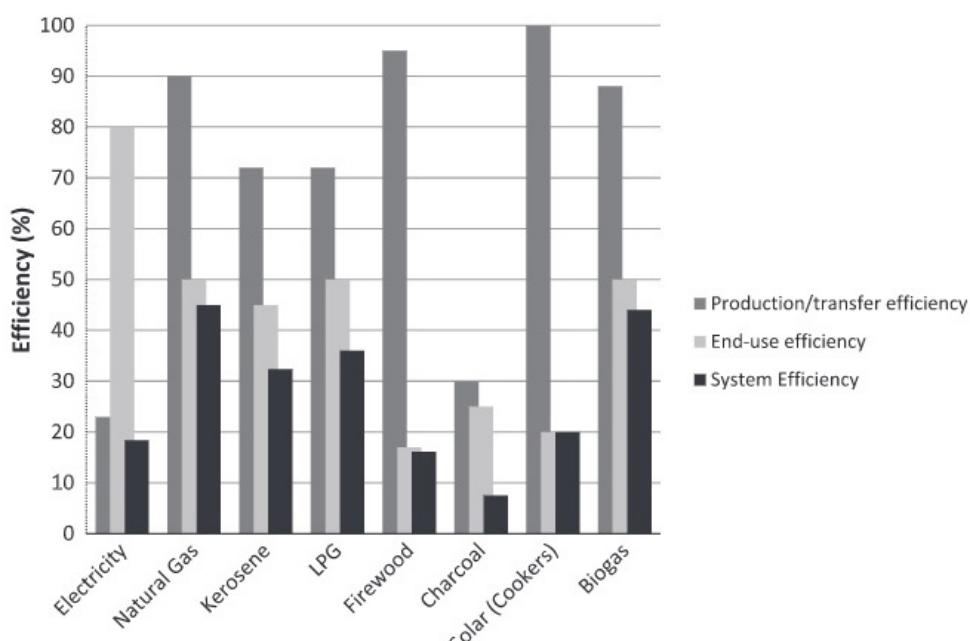
O ato de cozinhar é a base para a garantia de qualidade e segurança nutricional durante a alimentação – função fundamental ao funcionamento do metabolismo humano (CARMODY; WRANGHAM, 2009) – necessitando, assim, de consideráveis volumes de energia para sua execução, os quais podem variar entre diferentes residências, hábitos de consumo (HAGER; MORAWICKI, 2013) e de acordo com as reações físico-químicas observadas durante o preparo, relacionadas aos processos de transmissão de calor imperativos à cocção de alimentos – condução, convecção e irradiação (COLLETTI, 2016).

Neste sentido, Goldemberg e Lucon (2012) indicam que a constante evolução no aproveitamento de fontes primárias de energia por meio de sua diversificação e de instrumentações adequadas refletem em ganhos de eficiência e no alcance de patamares mais elevados na escada energética para a atividade de cocção, o que compreende, ainda, fatores relacionados à saúde e ao meio ambiente (FOELL et al., 2011).

Colleti (2016) indica que a cadeia evolutiva dos equipamentos obteve consolidação após a Segunda Guerra Mundial, com o aperfeiçoamento de tecnologias pré-existentes, resultando em aparelhos como o fogão por indução e os fornos de convecção, micro-ondas e combinados, valendo-se, atualmente, das perspectivas quanto a transição energética no setor de cocção, com a introdução de novas alternativas de energia (PRICE, 2021).

Deste modo, o funcionamento e eficiência destes aparelhos estão diretamente relacionados ao tipo de combustível utilizado (HAGER; MORAWICKI, 2013), enumerados, segundo WHO (2016), a partir: a) de matérias-primas rudimentares, como o carvão, lenha e resíduos sólidos orgânicos; b) de fontes intermediárias, tais quais o álcool, gasolina e querosene; c) dos combustíveis fósseis, como o gás liquefeito de petróleo (GLP) e o gás natural; e d) de novas possibilidades, relacionadas ao emprego da eletricidade, aquecimento solar e biomassa processada.

Figura 1 - Principais combustíveis para a cocção e suas respectivas eficiências de produção e transmissão de calor, de uso final e total do sistema.



Fonte: Hager e Morawicki (2013).

Contudo, o alcance destas alternativas energéticas para a cocção é limitado por dualidades socioeconómicas, vista a baixa acessibilidade de populações mais carentes a fontes modernas de energia (SINGH et al., 2015) – o que é constatado, sobretudo, em economias de países em desenvolvimento, a partir do substancial uso da lenha como energia primária, seguida do GLP e do gás natural (KOJIMA, 2021).

Este panorama, anteriormente relacionado às comunidades rurais, fortificou-se em ambientes urbanos em decorrência dos impactos socioeconómicos da pandemia de COVID-19 (PRICE, 2021), sensibilizando as expectativas quanto ao objetivo número 7 – voltado a promoção de energia mais limpa e acessível – dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU), cuja uma das metas é a facilitação, até 2030, do acesso à combustíveis e tecnologias eficientes para a cocção (ESC, 2020).

Somando-se a isto, Foell et al. (2011) e Tian et al. (2021) apontam que o uso de fontes primitivas em ambientes domésticos urbanos potencializa síndromes respiratórias pela emissão de poluentes, a desigualdade entre gêneros – visto que a maioria dos sistemas energéticos de cocção baseados em lenha são manipulados por mulheres – e impactos ambientais, com elevações nos níveis de desmatamento e de concentração de gases do efeito estufa, intensificando alterações climáticas (GOLDEM-BERG et al., 2018).

3.2. O uso da lenha para a cocção no Brasil

Brito (2007) destaca a contribuição da lenha – denominação para a madeira no campo energético – para o desenvolvimento humano por meio de sua aplicação primordial para a cocção, permanecendo, até hoje, como um dos principais combustíveis para o preparo de alimentos em determinadas regiões do planeta, como identificado por Passos et al. (2016) ao analisar um recorte de consumo local no Brasil – onde a utilização para a atividade, em caráter nacional, é observada em 19,3% de seus domicílios (IBGE, 2019), com elevado grau de dependência, respectivamente, nos estados do Pará, Maranhão e Piauí (GIODA, 2019).

Há, ainda, o indicativo de aumento do consumo de lenha no país desde 2018, correspondendo a 26,1% do consumo energético geral do setor residencial em 2020 (EPE, 2021a). Entretanto, projeta-se a redução em sua demanda no horizonte 2020-2030 em função de sua substituição parcial por combustíveis mais eficientes, como o GLP e gás natural (EPE, 2021b), conjecturando a superação, a longo prazo, dos impactos da pandemia.

Neste contexto, Brown (2011) identifica os principais condicionantes para a variação no consumo de lenha voltado ao serviço energético de cocção no Brasil, como os preços relativos e subsídios ao GLP, programas de auxílio-gás, acesso a eletrificação, taxas de urbanização, inflação e Produto Interno Bruto (PIB) per capita, corroborados por Barbosa (2017) ao verificar a relação entre o poder aquisitivo e o uso de combustíveis menos emissivos e mais eficientes para a cocção, na qual o consumo de lenha em ambientes domésticos se dá, majoritariamente, em regiões de baixos índices de desenvolvimento humano e de renda (COELHO et al., 2018; SANCHES-PEREIRA; TUDESCHINI; COELHO, 2016).

Além disto, Barbosa (2017) enumera os diferentes fatores para o uso da lenha na cocção dentro as regiões brasileiras, como as características culturais das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, bem como o grau de pobreza, os custos elevados da energia elétrica e GLP e a facilidade de acesso a madeira nas regiões Norte e Nordeste. A procedência do insumo, segundo Gioda (2019), também apresenta variações, sendo extraído de forma mais agressiva nas regiões de menor renda per capita, o que implica no abalo de biomas e ecossistemas.

Em ambientes domésticos urbanos, do ponto de vista energético, o uso da lenha para a cocção resulta em consideráveis perdas de eficiência, visto que apenas 10% da energia contida no combustível é convertida em energia útil para o processo (GOLDEMBERG; LUCON, 2012), o que levou à iniciativas pontuais de difusão de fogões a lenha mais eficientes no Brasil, com a distribuição de cerca de 28 mil equipamentos, contemplando, principalmente, a Região Nordeste (SGARBI, 2013), de modo a mitigar, também, a insegurança técnica de aparelhos tradicionais – de difícil manuseio, defeituosos e com instalações inadequadas, como os fogões de três pedras (BARBOSA, 2017).

Figura 2 - Exemplo de fogão a lenha de três pedras típico.



Fonte: Moraes, Martins e Trigoso (2008).

Vale destacar, ainda, os riscos para a saúde humana da queima ineficiente de combustíveis sólidos, como a lenha, em domicílios fechados e com baixa circulação de ar nos países em desenvolvimento (GOLDEMBERG *et al.*, 2018), como identificados no Brasil por Gioda, Tonietto e Leon (2019) ao relacionar sua alta concentração de particulados – tais quais o monóxido de carbono, óxidos nitroso e sulfúricos, formaldeído e carcinogênicos (GODOY, 2008) – ao aumento de comorbidades respiratórias, como a bronquite crônica, doença pulmonar obstrutiva crônica, infecção aguda do trato respiratório inferior, além dos cânceres do trato aerodigestivo superior, do esôfago e da cavidade oral.

3.3. A retomada do uso da lenha em ambientes domésticos urbanos

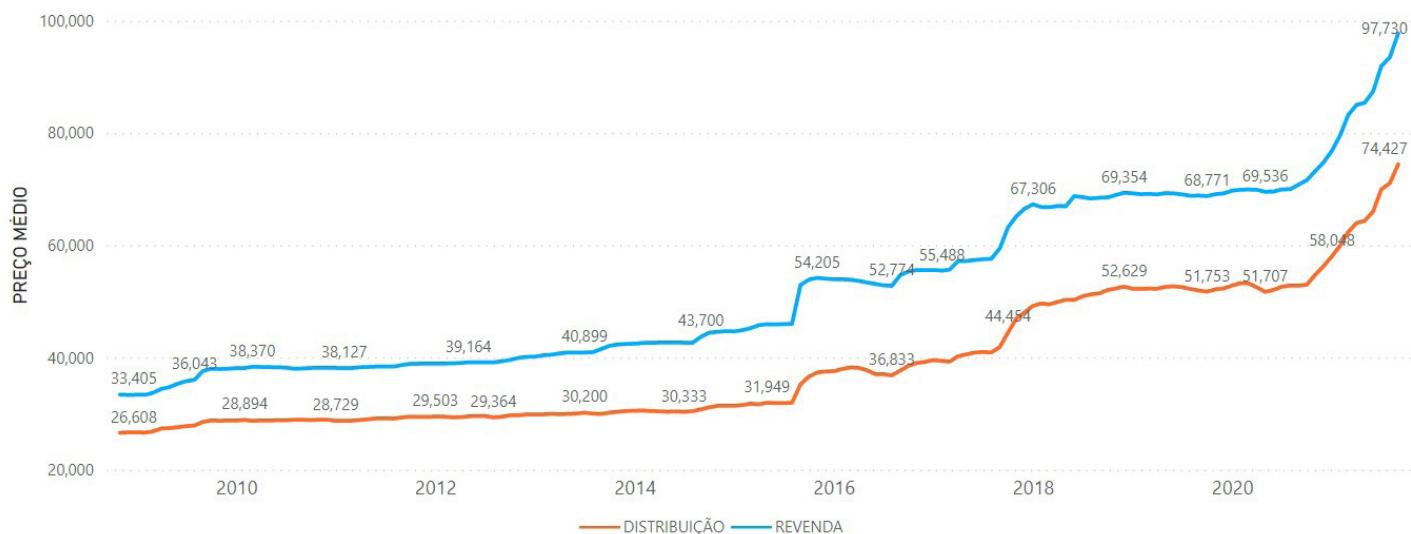
Mesmo com a carência de estudos voltados ao consumo de lenha no Brasil (GIODA, 2019), verifica-se, entre os anos de 2020 e 2021, que a crise econômica agravada pela pandemia provocou um aumento no uso de material lenhoso nos lares brasileiros urbanos (NUNES; AMORIM, 2021), como consequência do salário mínimo nacional de R\$1100,00 em 2021, estabelecido pela Lei nº 14.158/2021 (BRASIL, 2021), e dos valores do GLP residencial, ultrapassando os R\$100 em alguns estados (ANP, 2021a), comprometendo cerca de 10% do salário somente para a aquisição de um botijão (VENTURA; DOCA; PORTINARI, 2021).

Com o aumento nos preços do GLP afetando significativamente o poder de compra das famílias mais carentes (CASTRO, 2021), houve um impulso na participação da lenha no setor residencial em 2020, perdendo somente para a eletricidade, segundo dados do Balanço Energético Nacional de 2021 (EPE, 2021a) (Figura 3 e Tabela 1). Além disso, de acordo com CNI (2020), “o aumento sistemático no preço do botijão de gás foi responsável por uma tendência recente de substituição do GLP por lenha”, atingindo, novamente, núcleos familiares urbanos composto por cidadãos de baixa renda (GONÇAL-

VES, 2020), com a adoção do uso da lenha para o balanceamento do orçamento familiar durante os períodos de arrocho financeiro (LOUREIRO et al. 2015).

Em paralelo, a relativa disponibilidade do recurso é um fator primordial para famílias de baixa renda, devido a sua coleta manual e, muitas vezes, sem necessidade de pagamento (GIODA, 2019); entretanto, como apontado por Gioda, Tonietto e Leon (2019) e CNI (2020), a lenha está intimamente conectada a problemas de saúde e impactos ambientais no Brasil. Ademais, Cardoso (2021) destaca as condições precárias para sua obtenção em regiões metropolitanas, com a utilização, por famílias residentes em áreas periféricas, de restos de madeira catados de caixotes de feiras – um reflexo das impossibilidades financeiras agravadas pela pandemia de COVID-19, no contexto de aumentos no preço do GLP.

Figura 3 - Evolução dos preços médios de GLP entre outubro de 2008 e outubro de 2021.



Fonte: ANP (2021b).

Tabela 1 - evolução do consumo brasileiro residencial geral por fonte de energia entre 2011 e 2020, com destaque para a lenha.

FONTES	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	10 ³ tep (toe)
GÁS NATURAL	280	296	321	310	312	357	379	405	408	444	
LENHA	6.505	6.472	5.741	6.109	6.334	6.064	6.486	7.247	7.080	7.208	
GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO	6.364	6.393	6.521	6.535	6.541	6.573	6.606	6.531	6.499	6.740	
QUEROSENE	5	5	4	3	3	2	2	2	2	2	
GÁS CANALIZADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ELETRICIDADE	9.629	10.118	10.741	11.378	11.283	11.429	11.562	11.852	12.303	12.801	
CARVÃO VEGETAL	483	478	402	478	474	429	385	406	405	405	
TOTAL	23.267	23.761	23.730	24.813	24.946	24.854	25.420	26.444	26.697	27.600	

Fonte: EPE (2021a).

4. Conclusão

Com o agravamento da crise econômica vivenciada no país, associada aos impactos da pandemia, o aumento no preço do GLP refletiu em um maior consumo de lenha nas residências brasileiras, ao observar o seu emprego para a cocção, principalmente, em famílias de baixa renda em ambientes

urbanos. Neste sentido, espera-se que o levantamento realizado no presente artigo possa subsidiar futuras análises quanto aos impactos decorrentes dessa conjuntura no Brasil, vista a importância diária deste serviço energético e sua relação com fatores de desenvolvimento humano, bem como possibilidades para sua superação.

Para tal, destacam-se observações preliminares. Do ponto de vista socioeconômico, a facilidade para a aquisição de lenha é um dos principais fatores para sua utilização em famílias urbanas carentes, pois a mesma se encontra em locais de acessíveis, necessitando, apenas, da prática da cotação pelos usuários, em contraposição ao GLP com altos preços no mercado, de, aproximadamente, R\$100. Além disto, o momento pandêmico sensibilizou ainda mais a estabilidade financeira de boa parte da população, e, com isso, insumos básicos, como o GLP, foram excluídos ou tiveram uso reduzido nas residências. Em cenários extremos, a utilização de lenha foi a alternativa encontrada para o preparo alimentício.

Contudo, o emprego da queima da lenha voltada à cocção pode resultar em graves problemas de saúde, com o desenvolvimento de enfermidades relacionadas ao pulmão, garganta e nariz, podendo, ainda, induzir a doenças cancerígenas. Além disso, os impactos ao meio ambiente são preocupantes, diante dos gases tóxicos liberados para a atmosfera e reflexos nos índices de desmatamento, caso a extração seja realizada de maneira irregular. Tais aspectos, quando somados às observações no contexto urbano do Brasil, contribuem para cenários de insegurança energética, socioeconômica e alimentar, prejudicando, diretamente, o uso final de energia na cocção.

Bibliografia

- AGÊNCIA NACIONAL DE PETROLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Evolução dos preços de GLP (R\$ / botijão de 13 kg). 2021a. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/arq-precos/tabelas/2021-margens-rev-e-distr-por-estado-setembro-p13-tabela.pdf>>. Acesso em: 23. out 2021.
- _____. Painel Dinâmico. 2021b. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMGM-0NDhhMTUtMjQwZi00N2RILTk1M2UtYjkxZTlkNUt1YzE5IwidCI6ljQ0OTlmNGZmLTI0YTtNGI0Mi1i-N2VmLTEyNGFmY2FkYzkxMyJ9>>. Acesso em: 23 out. 2021.
- BARBOSA, G. (ed.). Queima de lenha e carvão em ambientes fechados: poluição do ar e riscos para a saúde. Rio de Janeiro, RJ: UERJ/PUC-RJ/SindiGas, 2017.
- BRASIL. Lei nº 14.158, de 2 de junho de 2021. Dispõe sobre o valor do salário-mínimo a vigorar a partir de 1º de janeiro de 2021. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 04 jun. 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.158-de-2-de-junho-de-2021-323831302>>. Acesso em: 22 out. 2021.
- BRITO, J. O. O uso energético da madeira. Estudos avançados, v. 21, n. 59, p. 185-193, 2007.
- BROWN, D. W. Economia da Energia no segmento residencial rural do Brasil com enfoque na lenha. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
- CARDOSO, L. População pobre convive com o perigo de fogões a lenha improvisados, que já predominam no país com alta de 30% no preço do gás. O Globo – Brasil, Rio de Janeiro, 19 set. 2021. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/brasil/populacao-pobre-convive-com-perigo-de-fogoes-leinha-improvisados-que-ja-predominam-no-pais-com-alta-de-30-no-preco-do-gas-25203712>>. Acesso em: 26 out. 2021.
- CARMODY, R. N.; WRANGHAM, R. W. The energetic significance of cooking. Journal of Human Evolution, v. 57, n. 4, p. 379-391, 2009.
- CARVALHO, J. F. Energia e sociedade. Estudos avançados, v. 28, p. 25-39, 2014.
- CASTRO, I. S. S. Impacto social do preço de combustíveis: estudo da despesa de GLP nas famílias de baixa renda. 2021. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Economia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.

- COELHO, S. T. et al. The energy transition history of fuelwood replacement for liquefied petroleum gas in Brazilian households from 1920 to 2016. *Energy Policy*, v. 123, p. 41-52, 2018.
- COLETTI, G. F. Gastronomia, história e tecnologia: a evolução dos métodos de cocção. *Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade*, Araraquara, v. 4, n. 2, 2016.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS (CNI). Uma Análise da Nova Lei do Gás à Luz do Interesse Público. Brasília, DF: CNI, 2020. 72 p. Relatório de Consultoria.
- ECONOMIC AND SOCIAL COUNCIL (ESC). Progress towards the Sustainable Development Goals. New York: United Nations, 2020. 19 p. Report of the Secretary-General.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional – Ano-Base 2020. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2021a.
- _____. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2021b.
- FOELL, W. et al. Household cooking fuels and technologies in developing economies. *Energy Policy*, v. 39, n. 12, p. 7487-7496, 2011.
- GIODA, A. Comparação dos níveis de poluentes emitidos pelos diferentes combustíveis utilizados para cocção e sua influência no aquecimento global. *Química Nova*, v. 41, p. 839-848, 2018.
- _____. Características e procedência da lenha usada na cocção no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 33, p. 133-150, 2019.
- GIODA, A.; TONIETTO, G. B.; LEON, A. P. Exposição ao uso da lenha para cocção no Brasil e sua relação com os agravos à saúde da população. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 24, p. 3079-3088, 2019.
- GODOY, I. Fogão a lenha: um passatempo agradável, uma rotina perigosa. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v. 34, n. 9, p. 637-638, 2008.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento. 3 ed. São Paulo: Edusp, 2012.
- GOLDEMBERG, J. et al. Household air pollution, health, and climate change: cleaning the air. *Environmental Research Letters*, v. 13, n. 3, p. 030201, 2018.
- GONÇALVES, O. G. O mercado brasileiro de diesel, gasolina e GLP entre 2000 e 2019 – caracterização histórica e panorama atual. 2020. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.
- HAGER, T. J.; MORAWICKI, R. Energy consumption during cooking in the residential sector of developed nations: A review. *Food Policy*, v. 40, p. 54-63, 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Anual, 2019. Tabela 6739 – Domicílios e Moradores, por tipo de combustível utilizado na preparação de alimentos. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6739>>. Acesso em: 27 out. 2021.
- LOUREIRO, A. et al. Determinantes do Consumo Residencial de GLP: Análises Regionais. São Paulo, SP: SindiGas/ABRINSTAL/IEE-USP, 2015. 16 p. Relatório de Estudo.
- KOJIMA, M. Primary Household Energy for Cooking and Heating in 52 Developing Economies. Washington, DC: World Bank Group, 2021. 28 p. Technical Report from Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP).
- MACHADO, G. O. et al. Avaliação do desempenho energético de fogão a lenha portátil. *Vértices*, Campos dos Goytacazes/RJ, v. 17, n. 3, p. 111-125, 2015.
- MORAES, A. M.; MARTINS, G.; MORANTE, F. O uso do fogão à lenha no semi-árido piauiense: um estudo de caso. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 7., 2008, Fortaleza. Anais 2008, 7º Congresso Internacional Sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural – AGRENER 2008. Campinas: Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético – UNICAMP, 2008. P. 1-9.
- NUNES, F.; AMORIM, D. Lenha já é mais usada que o gás nas cozinhas brasileiras. CNN Brasil – Business, São Paulo, 10 out. 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/brasileiro-ja-usa-mais-lenha-do-que-gas-na-cozinha/>>. Acesso em: 26 out. 2021.

PASSOS, B. M. et al. Características do consumo residencial de lenha e carvão vegetal. Floresta, v. 46, n. 1, p. 21-29, 2016.

PRICE, M. Modern Energy Cooking Services: An Urban Perspective. London: Loughborough University/ESMAP/UKAid, 2021. 53 p. Working Paper.

REGUEIRA, T. M. Comparação entre a eficiência de dois modelos de fogão a lenha e seus impactos sobre o desmatamento da Caatinga. 2010. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

SANCHES-PEREIRA, A.; TUDESCHINI, L. G.; COELHO, S. T. Evolution of the Brazilian residential carbon footprint based on direct energy consumption. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 54, p. 184-201, 2016.

SGARBI, F. A. Disseminação de fogões a lenha eficientes: uma política necessária para a promoção de serviços energéticos limpos no Brasil. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE FOGÕES ECOLÓGICOS, 1. Recife: CEPAN, 2013. Apresentação em formato eletrônico.

SINGH, R. et al. Electricity (in) accessibility to the urban poor in developing countries. Wiley interdisciplinary reviews: energy and environment, v. 4, n. 4, p. 339-353, 2015.

TIAN, Z. et al. The health effect of household cooking fuel choice in China: An urban-rural gap perspective. Technological Forecasting and Social Change, v. 173, p. 121083, 2021.

VENTURA, M.; DOCA, G.; PORTINARI, N. Governo avalia criar vale-gás para famílias que recebem Bolsa Família. O Globo – Economia, Rio de Janeiro, 01 out. 2021. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/governo-avalia-criar-vale-gas-para-familias-que-recebem-bolsa-familia-25220116>>. Acesso em: 26 out. 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Household Energy Use. Report. Geneva, 2016. (DRAFT Catalogue of Cooking, Heating and Lighting Fuels and Technologies).

Estudo de metodologias para quantificação da segurança energética e sua aplicação no contexto brasileiro.

Study of methodologies for quantification of energy security and application in the Brazilian context

Gabriela Soares De Faria¹

Thiago Luis Felipe Brito²

Sumário: 1. Introdução. 2 Metodologias Encontradas. 3. Conclusão. 4 Bibliografia.

Resumo: O conceito de segurança energética pode ser compreendido como uma junção de diversos fatores. Para além da garantia na oferta de energia, a literatura tem apontado a importância da relação com os aspectos socioeconômicos e ambientais. Uma definição mais abrangente de segurança energética é proposta por Brown et al. (2014), “fornecimento equitativamente disponível, acessível, confiável, eficiente, ambientalmente benigno, governado de forma proativa e social, de serviços de energia aceitáveis para os usuários finais” que, de forma geral, divide-se em quatro dimensões: disponibilidade (relacionada com a diversidade da oferta de energia e a dependência de fornecedores externos); acessibilidade (que leva em consideração o acesso e os preços de energia); eficiência energética; e gestão ambiental (referindo aos aspectos ambientais e a proteção as gerações futuras). Nesse sentido, a dúvida sobre se é possível garantir energia para todos de forma segura e sustentável aparece cada vez mais como um grande desafio para a sociedade.

Diante disso, o objetivo do presente projeto será avaliar a segurança energética levando em consideração indicadores quantitativos e as dimensões definidas acima. Espera-se com isso apresentar uma análise aprofundada sobre o desempenho brasileiro no que se refere a segurança energética, de forma a contribuir com os tomadores de decisões sobre o planejamento energético do país.

Palavras-chave: Segurança Energética; Planejamento Energético; Gestão Ambiental

Abstract: The concept of energy security can be understood as a combination of several factors. In addition to guaranteeing energy supply, the literature has pointed out the importance of the relationship with socioeconomic and environmental aspects. A more comprehensive definition of energy security is proposed by Brown et al. (2014), “equitably available, affordable, reliable, efficient, environmentally benign, proactively and socially governed provision of acceptable energy services to end users” which, in general, is divided into four dimensions: availability (related to the diversity of energy supply and dependence on external suppliers); accessibility (which takes into account energy access and prices); energy efficiency; and environmental management (referring to environmental aspects and the protection of future generations). In this sense, the question of whether it is possible to guarantee energy for all in a safe and sustainable way appears more and more as a major challenge for society.

Therefore, the objective of this project will be to assess energy security considering quantitative indicators and the dimensions defined above. It is expected with this to present an in-depth analysis of the Brazilian performance about energy security, to contribute to decision makers on the country's energy planning.

Keywords: Energy Security; Energy Planning; Environmental management

¹ Graduada em Ciências Econômicas, Mestranda em Energia, Universidade de São Paulo, gabriela.soares.faria@usp.br.

² Doutor em Ciências da Energia, Universidade de São Paulo, thiagobrito@usp.br.

1. Introdução

A energia é necessária para a comunicação, o transporte, o desenvolvimento social e o acesso aos alimentos e, por isso, todos os países precisam lidar com as questões de segurança energética. Muitos estudos na literatura seguem a abordagem do determinismo de recursos, dando pouca ou nenhuma atenção à dimensão social (BELYI, 2016). Månsoon, (2014), propôs uma estrutura conceitual para compreender a relação entre energia e conflitos ou guerras, considerando contextos políticos, econômicos e sociais. Em sua abordagem, a energia pode ser o objeto, o meio ou a causa dos confrontos. Aspectos como degradação ambiental, preços dos alimentos, gargalos de infraestrutura e outros afetam significativamente a ocorrência desses conflitos.

Já de acordo com Brito et al. (2012), a segurança energética pode ser analisada sob duas perspectivas: por um lado, alguns países dependem de energia importada, buscando garantir o abastecimento da indústria e o desenvolvimento. Por outro lado, alguns países produzem energia e dependem da receita gerada pelas exportações. Esses países são então envolvidos em uma relação de interdependência. Essa interpretação segue a teoria da interdependência complexa proposta por Robert Keohane e Joseph Nye na década de 1970. Para Keohane, Nye (2001), é possível medir a interdependência por meio de duas dimensões: sensibilidade e vulnerabilidade. A primeira é medir o quanto os países estão sujeitos aos impactos causados por ações externas e o quanto eles podem custar. A segunda está relacionada a quanto um país pode responder por tais ações, seja por meio de políticas internas ou externas ou mesmo arcando com os custos totais dos impactos (BRITO et al., 2012).

Para resolver isso, a literatura aponta a diversificação como o princípio mais fundamental da segurança energética, a fim de reduzir a vulnerabilidade, especialmente para os países que sofrem com a maldição dos recursos (DALGAARD; GLÖCK, 2009). Assim, os consumidores podem reduzir a vulnerabilidade aumentando sua própria produção de energia, encontrando novos fornecedores. Os países exportadores de energia poderiam evitar a maldição dos recursos diversificando sua economia como um todo.

Brown et al. (2014), propõe uma definição mais abrangente para a segurança energética, conceituando-a como o “fornecimento equitativamente disponível, acessível, confiável, eficiente, ambientalmente benigno, governado de forma proativa e social, de serviços de energia aceitáveis para os usuários finais”. De forma geral, o autor divide tal conceito em quatro dimensões: (i) disponibilidade (relacionada com a diversidade da oferta de energia e a dependência de fornecedores externos); (ii) acessibilidade (que leva em consideração o acesso e os preços de energia); (iii) a eficiência energética; e (iv) a gestão ambiental (referindo aos aspectos ambientais e a proteção as gerações futuras).

Bogoviz et al. (2019), utiliza a mesma definição e metodologia proposta por Brown et al. (2014), para tentar avaliar o desempenho da segurança energética no grupo do Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul (BRICS) entre 1990 e 2015. Como resultado, encontrou que durante esses 25 anos o Brasil seguiu tendo o pior desempenho em segurança energética entre outros países do BRICS.

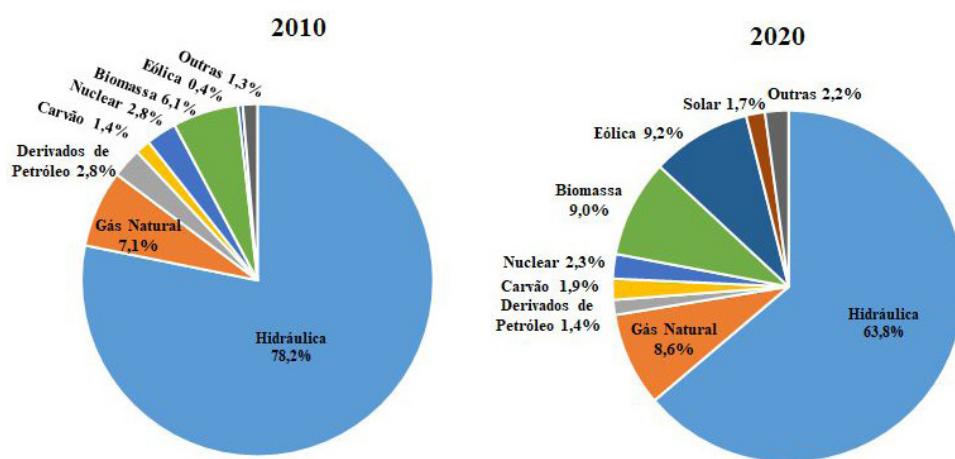
Na visão do autor, o Brasil foi capaz de diminuir sua dependência das importações de petróleo e carvão ao longo do tempo, mas sua dependência do gás natural cresceu significativamente. Além disso, encontrou que apesar do crescente acesso à eletricidade, o Brasil experimentou um aumento significativo nos preços ao consumidor tanto da gasolina quanto do diesel, o que afetou suas pontuações na dimensão “acessibilidade” de energia. O autor destacou ainda que o desempenho nas dimensões “eficiência” e “gestão ambiental” sofreram mudanças insignificantes.

De fato, no período ainda mais recente, a oferta interna de energia proveniente de fontes não renováveis recuou em cerca de 3,3% ao ano entre 2015 e 2020, segundo dados disponibilizados pela Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE, 2021). Ao passo que a oferta de fontes renováveis cresceu

2,4% ao ano no mesmo período, com destaque principalmente para os avanços na oferta de energia solar e eólica, segundo a mesma fonte.

Ainda assim, o acesso à energia elétrica ainda não está disponível em algumas regiões do Brasil (MATHYAS A. et al., 2020) Além disso, mesmo nos lugares em que o acesso de energia elétrica está disponível, destaca-se os diversos problemas gerados nesses últimos anos por conta da dependência da energia hidrelétrica (uma fonte de energia renovável) frente a escassez de chuvas e o consequente baixo nível nos reservatórios. Episódios que levaram a frequentes medidas de racionalização da água e energia. A figura 1 mostra a comparação entre a composição do parque gerador de energia elétrica entre 2010 e 2020 e, com isso percebe-se que apesar da diminuição da participação das hidrelétricas, essa ainda se configura como principal fornecedora de energia.

Figura 1: Participação por fonte na geração elétrica no Brasil em 2010 e 2020



Fonte: (EPE, 2021). Elaboração própria.

Um outro aspecto relevante dessa composição, diz respeito ao aumento da participação do gás natural, que pode estar relacionado com o aumento da utilização de usinas termoelétricas nos momentos em que as hidrelétricas não podem suprir toda a demanda por energia. Esse avanço da utilização de termoelétricas, por sua vez, pode levar ao aumento das emissões de gases de efeito estufa. Segundo dados da EPE, as emissões de gases de efeito estufa provenientes de óleo diesel, óleo combustível, carvão, e gás natural aumentaram em cerca de 3,7% ao ano, também, entre 2010 e 2020 no Sistema Integrado Nacional – SIN(EPE, 2021).

Diante do exposto, surge a dúvida sobre se é possível garantir energia para todos de forma segura e sustentável, já que o conceito de segurança energética se mostra relacionado não somente com à garantia na oferta de energia, mas também com os preços, o acesso abrangente e de qualidade, e com fatores ambientais. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é de apresentar formas quantitativas de avaliação de segurança energética. Além disso, objetiva-se encontrar especialmente uma metodologia que explique a posição brasileira de segurança energética. As próximas seções detalham as metodologias encontradas e as conclusões.

2. Metodologias Encontradas

Com o objetivo de construir uma forma de calcular o desempenho da segurança energética no Brasil levando em consideração: (i) a interação com fornecedores externos; (ii) a evolução do acesso à energia; (ii) os preços; e (iv) os impactos ambientais, foram selecionados duas formas de cálculo. No primeiro, o propósito seria entender a importância da diversificação para a segurança energética, e para isso podem ser construídos índices sobre a oferta e a demanda por energia em diferentes cenários. Uma segunda forma, seria avaliar a segurança energética levando em consideração aspectos sociais e ambientais utilizando o Método de normalização Z-Score.

2.1. Primeira ótica

Segundo Rahimi e Sheffrin (2003), uma das formas de monitorar e acompanhar a concentração de mercado pode ser através da utilização de índices que levam em consideração a capacidade de cada ofertante do mercado. Um indicador clássico nessa área é o Índice Herfindahl-Hirschmann (HHI). Esse índice foi desenvolvido por Albert O. Hirschman e Orris C. Herfindahl, e sua utilização foi amplamente divulgada em fins teóricos e práticos após 1982, quando o Departamento de Justiça dos EUA adoto-o como meio de medição de concentração de mercado para fins antitrustes. O HHI é obtido a partir da soma dos quadrados das participações de mercado (“market-share”) de cada fornecedor da indústria e é calculado conforme a Equação (1):

$$IHH = \sum_{i=1}^n (S_i \times 100)^2 \quad (1)$$

onde n é o número de fornecedores do mercado e S é a participação de mercado do fornecedor i (“market-share” do fornecedor i). O índice pode variar de zero (um mercado altamente competitivo: várias empresas pequenas ofertando) até 10.000 (um mercado altamente concentrado: monopólio puro). Portanto, quanto maior o índice, maior o nível de concentração (LAINE, 1995, p. 424).

Contudo, para Rahimi e Sheffrin (2003), considerar apenas o HHI pode levar a conclusões enganosas em relação ao valor da competição de mercado, porque fornece uma medida parcial da estrutura de mercado, já que não considera a demanda, uma vez que o balanço entre oferta e demanda em um mercado de energia pode mudar ao longo do tempo. Nesse sentido, utiliza-se também outro índice que pode ser usado para analisar a concentração do mercado é o Índice de Oferta Residual, desenvolvido pelo “Independent System Operator (ISO)” da Califórnia, expresso pela Equação (2):

$$IHH = \left(\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{D} \right) - \frac{Q_i}{D} \quad (2)$$

onde n é o número de fornecedores do mercado, Q a capacidade disponível do fornecedor i , e D a demanda total do mercado.

Então, para um determinado nível de demanda, o índice de oferta residual da empresa i mede a porcentagem da oferta a permanecer no mercado após subtrair a capacidade de fornecimento da empresa i . Se a oferta residual da empresa i for menor que 100, a firma é necessária para atingir a demanda, portanto, é uma supridora fundamental no mercado. Já no caso em que o índice do fornecedor for maior que 120, então há um indicativo razoável de competitividade no mercado. Um RSI geral para todo o mercado também pode ser calculado, nesse caso considera-se o RSI mínimo entre todos os fornecedores do mercado (RAHIMI; SHEFFRIN, 2003).

Para o caso específico de segurança energética, o propósito seria construir esses índices com dados sobre oferta e a demanda por energia em diferentes cenários. Os dados disponibilizados atualmente pela EPE possibilitariam a estimação dessas condições de oferta e demanda em diferentes anos.

2.2. Segunda Ótica

A segunda forma segue o conceito de segurança energética defendido por Brown et al. (2014), considerando não apenas a diversificação, mas, também, aspectos ambientais e sociais. Portanto, o propósito dessa ótica seria avaliar a segurança usando um número grande de indicadores quantitativos através do método de normalização Z-Score. O objetivo do método é medir as magnitudes

relativas de mudança em diferentes indicadores. A comparação dessas mudanças em pontuações z permitem ver como o índice de desempenho de segurança energética tem mudado com o tempo.

Os escores Z são calculados subtraindo o valor médio de cada ponto de dados e, em seguida, dividindo-o pelo desvio padrão de todo o indicador. Diferenças positivas nos escores z indicam melhor segurança energética.

Os resultados dos cálculos dependerão da escolha e da disponibilidade de dados sobre o Brasil que indiquem as dimensões de: disponibilidade, acessibilidade, eficiência energética, e gestão ambiental. Váriaveis como: importações de petróleo e gás natural brasileiro, a oferta de energia renovável, e/ou a dependência do petróleo no setor de transportes podem indicar sobre a disponibilidade de energia. Já variáveis como os preços de eletricidade ou de combustíveis, e o uso de eletricidade em diferentes regiões do país podem ajudar a construir a dimensão de acessibilidade. Para a dimensão de eficiência energética um exemplo são dados de utilização de eletricidade em relação ao PIB ou ao desempenho industrial entre as regiões. Por fim, para a gestão ambiental são importantes dados como a quantidade de emissões de gases de efeito estufa, a utilização da terra e a relação com desmatamento, dentre outros.

3. Conclusões

Encontrar formas quantitativas para a avaliação da segurança energética se mostra como um desafio dentro da literatura sobre o tema. Os estudos que tendem a discutir essa temática são bastante atuais. Ainda assim, a análise quantitativa, como os índices indicados acima, permitiria uma interpretação mais profunda da atual situação do Brasil no que se refere a segurança energética, bem como apresentar possibilidades para o futuro, sobretudo quando se considera o planejamento energético do país.

Especificamente para os resultados dos cálculos da primeira ótica, seria possível identificar o tamanho da dependência de cada fonte de energia existente no Brasil (considerando a demanda em diferentes setores). E, com os resultados em cenários futuros o estudo permitiria testar como a diversificação energética proporciona mais ou menos segurança.

Para os resultados da segunda ótica, a análise permitiria a construção de um panorama da segurança energética no país levando em consideração aspectos ambientais e sociais. Com isso, o estudo permitiria entender sobre como a dependência de determinadas fontes energéticas se relaciona com os preços finais ao consumidor, ou como essa dependência se relaciona com a utilização da terra e as emissões de gases de efeito estufa. Com isso, o estudo quantitativo poderia contribuir com propostas para a composição da matriz energética brasileira de forma a reduzir a insegurança energética.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

4. Bibliografia

- BELYI, A. v. Limitations of resource determinism in international energy studies. *Energy Research and Social Science*, v. 12, p. 1–4, 1 fev. 2016.
- BOGOVIZ, A. v. et al. A quantitative analysis of energy security performance by Brazil, Russia, India, China, and South Africa in 1990-2015. *International Journal of Energy Economics and Policy*, v. 9, n. 3, p. 244–250, 2019.
- BRITO, T. L. F.; MOUTINHO, E. dos S.; NAVA, P. C. The Dialectics of Energy Security and Nations Interdependence: Reflections Focused on the Role of Oil and the Brazilian Dimension. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/318404750>>. Acesso em: 15 fev. 2021.
- BROWN, M. A. et al. Forty years of energy security trends: A comparative assessment of 22 industrialized countries. *Energy Research and Social Science*, v. 4, n. C, p. 64–77, 1 dez. 2014.
- DALGAARD, K. G.; GLÖCK, Å. E. C. The Dialectics of Energy Security Interdependence. International Studies Association Convention, 2009.
- EPE, E. de P. E. Balanço Energético Nacional 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>>. Acesso em: 6 set. 2021a.
- EPE, E. de P. E. Anuário Estatístico de Energia Elétrica. 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 6 set. 2021b.
- EPE, E. de P. E. Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE 2030. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-490/PDE_2030_RevisaoPosCP_rv2.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2021c.
- KEOHANE, R. O.; NYE, J. S. *Power and Interdependence*. 3rd. ed. New York: Longman, 2001.
- MÅNSSON, A. Energy, conflict and war: Towards a conceptual framework. *Energy Research and Social Science*, v. 4, n. C, p. 106–116, 2014.
- MATHYAS M. A. et al. Acesso à energia com fontes renováveis em regiões remotas no Brasil: lições aprendidas e recomendações. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?76422/Acesso-a-energia-com-fontes-renovaveis-em-regioes-remotas-no-brasil>>. Acesso em: 6 set. 2021.
- RAHIMI, A. F.; SHEFFRIN, A. Y. Effective market monitoring in deregulated electricity markets. *IEEE Transactions on Power Systems*, v. 18, n. 2, p. 486–493, maio 2003. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1198276/>>. Acesso em: 23 abr. 2021.

A indústria de gás natural da região norte do Brasil a partir da análise da privatização da Eletrobras

The natural gas industry in northern Brazil from the analysis of Eletrobras privatization

Gabriela Pantoja Passos¹

Hirdan Katarina de Medeiros Costa²

Thiago Luis Felipe Brito³

Sumário: 1. Introdução. 2. Panorama geral da indústria de gás natural da região norte do Brasil. 3. A Lei nº 14.182/2021 e a região norte. 4. Considerações finais. Referências.

Resumo: No ano de 2021, ocorreram dois marcos regulatórios relacionados ao mercado de gás natural nacional: a Lei nº 14.134/2021 (Nova Lei do Gás) e a Lei nº 14.182/2021 (Desestatização da Eletrobras). Os processos de sanção dessas leis tendem a gerar mudanças significativas no mercado energético brasileiro, especialmente por promoverem o aumento da participação do gás natural na matriz energética do país. Em virtude disso, o presente artigo tem como objetivo analisar o mercado de gás brasileiro, com ênfase na região norte em decorrência do processo de desestatização da Eletrobras, avaliando a relação deste processo com a Nova Lei do Gás, de modo a elucidar e compreender se há alinhamento de objetivos e viabilidade para a expansão do mercado gasífero brasileiro e para a melhoria do setor energético nacional. A escolha da região norte foi devido às complexidades em diversos aspectos que tal região possui, como questões relacionadas à infraestrutura e ao meio ambiente, entre outros. A metodologia utilizada será revisão bibliográfica de materiais disponíveis sobre o tema, que servirão de base para as análises propostas. Assim, espera-se contribuir com as discussões sobre os temas, que têm sido amplamente debatidos por pesquisadores de diversas áreas, colaborando para a maior visibilidade das questões referentes ao desenvolvimento do mercado de gás natural, principalmente na região norte do Brasil.

Palavras-Chave: Desestatização da Eletrobras; Gás Natural; Região Norte.

Abstract: In 2021, there were two regulatory milestones related to the national natural gas market: Law No. 14,134/2021 (New Gas Law) and Law No. 14,182/2021 (Eletrobras Privatization). The sanctioning processes of these laws tend to generate significant changes in the Brazilian energy market, especially as they promote an increase in the share of natural gas in the country's energy matrix. As a result, this article aims to analyze the Brazilian gas market, with emphasis on the northern region as a result of the Eletrobras privatization process, evaluating the relationship of this process with the New Gas Law, in order to elucidate and understand whether there is alignment of objectives and feasibility for the expansion of the Brazilian gas market and for the improvement of the national energy sector. The choice of the northern region was due to the complexities in several aspects that this region has, such as issues related to infrastructure and the environment, among others. The methodology used will be a literature review of available materials on the subject, which will serve as a basis for the proposed analyses. Thus, it is expected to contribute to the discussions

¹ Mestranda em Ciências da Energia, Universidade de São Paulo (PPGE/USP)

² Doutora em Ciências da Energia, Universidade de São Paulo (PPGE/USP)

³ Doutor em Ciências da Energia, Universidade de São Paulo (PPGE/USP)

on the themes, which have been widely debated by researchers from different areas, thus bringing greater visibility to issues related to the development of the natural gas market, especially in the northern region of Brazil.

Keywords: Privatization of Eletrobras; Natural gas; North region.

1. Introdução

Estima-se que o Brasil possui a segunda maior reserva de gás natural entre os países da América Central e do Sul, com cerca de 380 bilhões de metros cúbicos (bcm), ficando atrás apenas da Venezuela. Apesar destas vastas reservas, o mercado de gás natural brasileiro é considerado imaturo, sendo pouco desenvolvido comparativamente aos mercados internacionais que são referências a nível mundial, como Estados Unidos e União Europeia. Em vista disso, o governo federal vem buscando implantar iniciativas que impulsionem a expansão do mercado de gás nacional, de modo que a malha dutoviária cresça ao longo de todas as regiões do país, otimizando assim o aproveitamento da capacidade de produção do insumo disponível em território brasileiro.

Entretanto, observando os mercados internacionais já consolidados de gás natural, nota-se que o desenvolvimento efetivo de tais mercados foi construído ao longo de décadas de mudanças em diversos aspectos, desde ajustes da legislação referente ao setor energético e planejamento do mesmo até questões econômicas referentes ao modo que a exploração, a produção e o consumo de gás natural impactariam na economia de cada país. Assim, os países expandiram seus mercados gasíferos de forma singular, visando atender as suas especificidades e equilibrar as diferenças entre suas regiões.

No caso do Brasil, em 2021, no âmbito legislativo, dois eventos relacionados à esta expansão tiveram destaque: a sanção da Lei nº 14.134/2021 (Nova Lei do Gás) e a edição da Lei nº 14.182/2021 (Privatização da Eletrobras). Os processos de sanção dessas leis levantaram diversos debates, uma vez que as mesmas causariam mudanças significativas no mercado energético brasileiro e, consequentemente, na economia e no meio ambiente.

Nesse sentido, o presente artigo teve como principal objetivo analisar o mercado de gás da região norte do Brasil, em função do processo de privatização da Eletrobras e seus possíveis impactos no setor energético a nível regional e nacional, avaliando a relação entre as Lei nº 14.134/2021 e Lei nº 14.182/2021. A metodologia utilizada foi de revisão da literatura e o texto foi dividido em 4 seções, sendo estas, respectivamente: introdução, panorama geral do gás natural na região norte do Brasil, a Lei nº 14.182/2021 e sua relação com a região norte e considerações finais.

2. Panorama geral do gás natural da região norte do Brasil

A região norte do Brasil é composta pelos estados do Acre (AC), Amapá (AP), Amazonas (AM), Pará (PA), Rondônia (RO), Roraima (RR) e Tocantins (TO), abrangendo uma área total de extensão territorial de aproximadamente 3.851.281,390 km² (IBGE, 2020) e apresentando vasta riqueza em recursos naturais, com extensa biodiversidade em sua fauna e flora, além de grandes reservas de água doce superficial e subterrânea bem como de recursos minerais metálicos e não-metálicos (IBGE, 2020). A região é constituída por bacias sedimentares interiores, com significativas reservas comprovadas e estimadas de interesse para a exploração de óleo e gás, entre as quais destacam-se atualmente para este segmento exploratório as bacias Pará-Maranhão, Solimões, Amazonas e Parnaíba, enquanto que a bacia de Foz do Amazonas tem importância moderada (EPE, 2019a). Quanto a efetiva contribuição ao mercado de gás regional e a existência de projetos em execução e/ou em construção, as mais relevantes são a bacia de Solimões e do Amazonas.

Em relação ao abastecimento energético, essa região conta com as hidrelétricas e termelétricas movidas a diesel ou gás natural, a depender da localização da área a ser abastecida. Somado a isso, nos últimos anos também houve significativo aumento de adesão ao uso de energia solar, principalmente por consumidores livres. A composição do cenário energético regional é fortemente marcada pela presença de sistemas isolados, sendo estes mais concentrados nos estados do Amazonas (95) e de Roraima (86) (EPE, 2019a). Sistemas deste tipo apresentam, em geral, baixa confiabilidade e segurança energética, além de demandarem altos custos de manutenção.

Em vista disso, a busca pela diversificação do uso de fontes energéticas e de formas de distribuição, armazenamento e comercialização que melhorem a estrutura energética regional tem sido alvos de debates entre os governantes, especialmente na esfera federal. Com isso, o gás natural se apresenta como uma alternativa a estas questões, por tratar-se de uma fonte energética de uso em crescimento ao longo da última década no Brasil. Seu uso em usinas termelétricas (UTE) pode impactar na potencialização e viabilização do processo de interconexão da região norte brasileira ao Sistema Interligado Nacional (SIN), segundo o Zoneamento Nacional de Recursos de Óleo e Gás (EPE, 2019b).

Ademais, empreendimentos voltados à instalação e ao funcionamento da cadeia de valor do gás poderiam proporcionar a ampliação do desenvolvimento regional, através da geração de novos empregos e do aumento de renda, podendo também levar a redução da emissão de gases de efeito estufa por tratar-se de uma fonte com menores índices de poluição em relação ao petróleo e ao carvão, como constatado pela EPA (2021) as queimas de carvão emitem 95,52 kg de CO₂, enquanto que as queimas de gás natural 53,03 kg de CO₂ por mmBTU (milhões de Unidades Térmicas Britânicas), havendo portanto, expressiva vantagem ao utilizar o gás natural (EPA, 2021).

Portanto, dado o potencial da região para a exploração e produção de gás natural, somado aos possíveis benefícios que este insumo poderia agregar ao desenvolvimento de diversos aspectos regionais e que, por sua vez, também impactariam no mercado energético e econômico nacional, o governo federal tem buscado alinhar projetos em prol do maior uso de gás natural para o crescimento do mercado gasífero nacional e para a modificação do setor elétrico através da inserção deste insumo na produção de energia do Brasil.

Em abril de 2021, foi aprovada a Lei nº 14.134, chamada de Nova Lei do Gás, que se encontra em vigência e significou um marco na história do gás natural no país, uma vez que trouxe mudanças na Lei anterior (Lei nº 11.909/2009) em relação a conceitos como gasodutos de transporte e funcionamento de etapas distintas da cadeia de valor do gás. Com isso, a nova Lei do Gás tem como principal objetivo e promessa promover a maior abertura do mercado gasífero nacional, tornando o setor deste insumo mais sólido, claro e atrativo para novos investimentos (BRASIL, 2021; BAPTISTA & TARELHO, 2021).

Essa abertura de mercado impactará no setor energético como um todo, podendo contribuir com o aumento da produção de energia no território nacional e promover a dinamização da matriz energética do país, através de uma fonte que permite diversas formas de usos e gera energia com menores taxas de emissão de gases de efeito estufa quando comparada a fontes já utilizadas na produção energética, como o óleo diesel e o carvão, que são amplamente utilizados no suprimento de usinas termelétricas.

Em julho de 2021, foi aprovada a Lei nº 14.182/2021, conhecida como Lei de Privatização da Eletrobras, que teve impacto direto no setor elétrico e trouxe em seu texto medidas em prol da expansão do setor de gás natural, em todas as regiões do país. A seção 3 abordará esta lei e sua relação com o desenvolvimento do mercado gasífero brasileiro.

3. A Lei 14.182/2021 e a região norte

A Lei nº 14.182/2021 foi o resultado da conversão da Medida Provisória (MP) nº 1.031, a qual ficou conhecida como MP da Eletrobras e teve sua votação e posterior aprovação em junho de 2021. Entretanto, antes que fosse sancionada, teve alterações significativas em seu texto, fato que gerou polêmicas e debates no país. Em meio as alterações, a mais polêmica foi do texto de seu artigo primeiro, que anteriormente abordava sobre a forma como a privatização ocorreria, que no caso seria via capitalização e, após a com alteração do texto, tal artigo passou contemplar um planejamento energético para os próximos anos, principalmente em relação a expansão do setor elétrico e do setor de gás natural.

Com isso, a Lei da privatização da Eletrobras trouxe pontos específicos sobre o planejamento energético, com destaque para o aumento da geração termelétrica à gás natural, com contratação pelo poder concedente de 8 GW de potência, exclusivamente para essas termelétricas, sendo as contratações via leilão de reserva de capacidade por região, com capacidade variável entre as regiões, ou seja, a contratação não será feita pelas distribuidoras e sim pelo sistema elétrico com os custos pagos por todos os consumidores de energia elétrica.

Segundo a ABEGÁS (2021), a Lei se classifica como benéfica para o cenário energético e econômico do país, pois a ampliação das térmicas a gás natural podem fazer com que a geração de energia elétrica ocorra de forma ininterrupta, minimizando os transtornos de geração ocorridos nas épocas de seca, uma vez que o país depende fortemente das usinas hidrelétricas e, com isso, as térmicas a gás natural proporcionariam aumento de cerca de 10% do armazenamento dos reservatórios hídricos nacionais. Além disso, a ABEGÁS (2021) também afirma que a Lei pode tornar o mercado energético mais competitivo, reduzindo assim as tarifas pagas pelos consumidores devido a minimização da volatilidade do mercado, por gerar maior segurança energética através da estabilidade na geração e no fornecimento de energia. Por fim, a associação defende que por meio da expansão dos projetos de gás natural serão gerados mais empregos e melhorias nas infraestruturas de diversas áreas, que podem vir a ser beneficiadas com o gás natural (ABEGÁS, 2021).

Para a região norte, a Lei estipulou o montante de 2.500 MW, a serem distribuídos pelas capitais dos estados ou regiões metropolitanas, de acordo com a viabilidade de utilização das reservas provadas de gás natural existentes na Região Amazônica, em território nacional, devendo garantir o suprimento de ao menos duas capitais que não tenham ponto de suprimento de gás natural até a data da publicação da referida Lei (BRASIL, 2021).

Para tanto, seria imprescindível construir novos gasodutos ligados às regiões metropolitanas e/ou capitais da região em que não há pontos de suprimento de gás. Entretanto, a construção de gasodutos é um processo que deve ser feito com muita cautela, além de demandar muito tempo e investimento, o que seria inviável tendo em vista que o prazo estipulado pela Lei para que o pleno funcionamento de todas as novas usinas termelétricas ocorra até 2030 e para isso, os gasodutos deveriam ficar prontos antes desse prazo. Ou seja, o atraso nessas construções acarretaria no comprometimento do sucesso dos novos projetos termelétricos propostos pela Lei da privatização da Eletrobras, de modo que assim continuaria existindo o problema de segurança energética que afinge a região e implica na baixa qualidade dos serviços de fornecimento de energia ofertada à população local (ALMEIDA, 2021b).

Somado a isso, a região apresenta outras complexidades que tornam os objetivos da Lei contraditórios, como a complexidade da localização das reservas provadas, que no geral demandam uma logística para minimizar as chances de danos ambientais e de riscos às populações que vivem nos entornos das áreas em que seriam implantadas as estruturas do sistema gasífero. Ademais, as

reservas provadas da região já encontram-se atreladas ao abastecimento das usinas termelétricas localizadas no Amazonas, que recebe o gás da região petrolífera de Urucu através do gasoduto Coari-Manaus, e da recém construída usina de Jaguatirica, localizada em Roraima e que recebe o gás natural proveniente do campo de Azulão (localizado no estado do Amazonas) através da técnica de reservoir-to-wire (ALMEIDA, 2021b).

Portanto, nota-se que esta Lei visa incentivar a expansão do mercado de gás nacional, promovendo a contratação de novas térmicas movidas a este combustível. Entretanto, alguns aspectos devem ser analisados com cautela, como: a heterogeneidade entre as regiões, o que demandaria períodos distintos para que os gasodutos e as usinas entrassem em pleno funcionamento; o intuito de substituir outras fontes como óleo diesel e carvão por gás natural pautado no fato de que o gás é menos poluente se comparado com tais fontes deve ser ponderado, uma vez que a queima de gás como fonte intermitente e para promover a aumento da produção de energia do país pode acabar implicando no aumento da emissão de gás carbônico, o que iria assim contra o movimento em prol da construção de uma economia mais descarbonizada (RAMOS et al., 2020).

4. Considerações finais

Ao se enxergar a região norte, pode-se dizer que expansões do setor elétrico e do mercado de gás natural são necessárias, mas devem ser realizadas com base no planejamento energético responsável, a ser realizado por instituições como a EPE e demais órgãos responsáveis, de modo que sejam consideradas as realidades e especificidades de cada região, além dos aspectos regulatórios, ambientais e econômicos, que também são parte fundamental do planejamento energético.

Além disso, nota-se que a Lei de privatização da Eletrobras apresenta diversas questões que devem ser analisadas com cautela, a exemplo da demanda por construção de gasodutos, não só na região norte, como nas demais regiões do país, uma vez que a implementação de novos gasodutos é um processo complexo do ponto de vista regulatório, ambiental e econômico e que atrasos na construção desses gasodutos poderia gerar um desequilíbrio de oferta e demanda no setor elétrico.

Por fim, observa-se que há falta de alinhamento entre a Lei nº 14.182/2021 e a Nova Lei do Gás, por haver maior intervenção estatal na dinâmica de competição do setor gasífero, o que pode criar um cenário de instabilidade jurídica e regulatória do ponto de vista dos investidores.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Referências

ABEGÁS. MP da Eletrobras - Térmicas a Gás Natural: Solução vai evitar racionamento de energia elétrica e propiciar benefícios para o consumidor de luz. 2021 Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=8992028&ts=1628716577116&disposition=inline>. Acesso em: 02 mar. 20221.

ALMEIDA, E. A importância a aprovação da Lei do Gás. Energia Hoje. Coluna Opinião. Editora Brasil Energia. Publicado em: 21 de agosto de 2020. Disponível em: <https://energiahoe.editorabrasilenergia.com.br/a-importancia-da-aprovacao-da-lei-do-gas/>. Acesso em: 20 fev. 2022. (a)

ALMEIDA, E. Impacto da MP da Eletrobras no Mercado de Gás Natural. Cenários: Gás. Editora Brasil Energia. Publicado em: 14 jul. 2021. Disponível em: <https://cenariosgas.editorabrasilenergia.com.br/impacto-da-mp-da-eletrobras-no-mercado-de-gas-natural/>. Acesso em: 27 set. 2021. (b)

BAPTISTA, I. B., TARELHO, T. A. R. Da abertura do setor a nova lei do gás: mudança ou continuidade? O Novo Mercado de Gás. Editora Letra Capital. Rio de Janeiro. 2021.

BRASIL. Lei no 14.134, de 08 de abril de 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14134.htm Acesso em: 10 fev. 2022

BRASIL. Lei nº 14.182, de 12 de julho de 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/Lei/L14182.htm. Acesso em: 25 set. 2021.

BRASIL. Medida Provisória nº 1.031, de 23 de fevereiro de 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/Mpv/mpv1031.htm. Acesso em: 25 set. 2021.

EPA. Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-04/documents/emission-factors_apr2021.pdf. Acesso em: 08 fev. 2022.

EPE. Nota técnica: A indústria de gás natural na Argentina – Panorama, perspectivas e oportunidades para o Brasil. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: Julho/2020.

EPE. Planejamento do atendimento aos sistemas isolados – Horizonte 2024, Ciclo 2019. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: 2019. (a)

EPE. Zoneamento nacional de recursos de óleo e gás. Ciclo 2017-2019. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2019. (b)

FILHO, S. L. P. C; SOUZA, S. B. G., ALMEIDA, E. O desenvolvimento do midstream para a flexibilização de produção de gás pelo lado da oferta: casos de sucesso de oferta flexível e lições para a exploração do potencial brasileiro. Ensaio Energético, 24 de maio, 2021. Disponível em: <https://ensaioenergetico.com.br/o-desenvolvimento-do-midstream-para-a-flexibilizacao-de-producao-de-gas-pelo-lado-da-oferta-casos-de-sucesso-de-oferta-flexivel-e-licoes-para-a-exploitacao-do-potencial-brasileiro/>. Acesso em: 20 jan. 2022.

GOMES, I. Geração termelétrica, preços e disponibilidade de moléculas. Coluna Opinião. Editora Brasil Energia. Publicado em: 23 jul. 2021. Disponível em: <https://editorabrasilenergia.com.br/geracao-termelétrica-precos-e-disponibilidade-de-moleculas/>. Acesso em: 28 set. 2021.

IBGE. Anuário estatístico do Brasil 2019. Ministério da Economia. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro: IBGE, v. 79, 2020.

IEMA. Questionamentos à inserção de termelétricas a gás natural na Medida Provisória 1.031/2021. Instituto de Energia e Meio Ambiente. Publicado em: jun. 2021. Disponível em: <https://energiaeambiente.org.br/privatizacao-da-eletrobras-pode-aumentar-em-25-as-emissoes-de-todo-o-setor-eletrico-mostra-estudo-do-iema-20210611> Acesso em: 01. out. 2021.

RAMOS, K. N., COSTA, H. K. M., DOS SANTOS, E. M. O Brasil no contexto da transição energética: apontamentos sobre a aplicabilidade de uma abordagem territorial. Transição Energética, Justiça Geracional e Mudanças Climáticas. Editora Lumen Juris. Rio de Janeiro, 2020.

O aproveitamento energético da biomassa de casca de cacau: um estudo de caso

The energetic use of cocoa husk biomass: a study of a case

Geraldo Lavigne De Lemos¹

Hirdan Katarina De Medeiros Costa²

Eduardo G. Pereira³

Thaiz Da Silva Vescovi Chedid⁴

Suma: Resumo. Abstract. 1. Introdução. 2. A produção de cacau no Brasil e no mundo. 2.1. A casca de cacau como subproduto da lavoura. 3. A biomassa como fonte de energia. 4. Conclusão. Agradecimentos. Bibliografia.

Resumo: Os resíduos agrícolas podem ser importantes fontes energéticas. A lavoura cacauícola gera relevante quantidade de biomassa de casca de cacau. Estudos anteriores apontam que a biomassa de casca de cacau apresenta qualidades relevantes para a conversão em produtos energéticos por diversas rotas tecnológicas, a exemplo de pirólise, biodigestão anaeróbia e fermentação. O presente estudo teve como objetivo quantificar a capacidade de fornecimento de biomassa de casca de cacau e avaliar o resíduo como um subproduto aproveitável para fins energéticos. A metodologia adotada foi de pesquisa bibliográfica, com a obtenção de dados diretos e indiretos oriundos de órgãos oficiais, além da pesquisa em literatura científica, fazendo uso do método dedutivo. Os resultados identificaram os benefícios ambientais e econômicos da utilização da biomassa de casca de cacau como fonte energética, com opções para a comercialização de energia, bio-óleo, biogás, bioetanol, biocarvão, briquetes ou pellets. Somam-se ainda as possibilidades de servir para a alimentação animal, produção de fertilizantes orgânicos, biofertilizantes e substrato para a produção de enzimas.

Palavras-chave: biomassa; transição energética; cacauicultura; resíduos agrícolas; eficiência.

Abstract: Agricultural residues can be important energy sources. The cocoa crop generates a relevant amount of cocoa husk biomass. Previous studies indicate that cocoa husk biomass has relevant qualities for its conversion into energy products by various technological routes, such as pyrolysis, anaerobic biodigestion and fermentation. The present study aimed to quantify the supply capacity of cocoa husk biomass and evaluate the residue as a usable product for energy purposes. The methodology adopted was bibliographic research, obtaining direct and indirect data from official bodies, in addition to searches in scientific literature, using the deductive method. The results identified environmental and economic benefits for using cocoa husk biomass as an energy source, with alternatives to energy, bio-oil, biogas, bioethanol, biochar, briquettes or pellets. Added to this are the possibilities of serving for animal feed, production of organic fertilizers, biofertilizers and substrate for the production of enzymes.

Keywords: biomass; energy transition; cocoa cultivation; agricultural residue; efficiency.

1 Doutorando em Energia pelo IEE/USP (preferencial) <geraldolavigne@usp.br>

2 Professora no Programa de Pós-graduação em Energia da USP e Pesquisadora Visitante PRH 33.1 ANP/FINEP <hirdan@usp.br>

3 Professora no Programa de Pós-graduação em Energia da USP e Research Fellow no IEE/USP <egp.portugal@gmail.com>

4 Doutora em Energia pelo IEE/USP <thaizvescovi@hotmail.com>

1. Introdução

A utilização de resíduos agrícolas pode configurar uma alternativa energética com ganho de eficiência das lavouras pela utilização de subprodutos. A lavoura cacaueira produz volumosa quantidade de biomassa de casca de cacau que pode ser utilizada como fonte de energia, incremento de renda e alternativa para mitigar pressões aos recursos naturais. O presente estudo teve como objetivo quantificar a capacidade de fornecimento de biomassa de casca de cacau e avaliar como um resíduo aproveitável da lavoura cacaueira baiana para fins energéticos. O estudo pode influir na adoção de práticas semelhantes em diversos países produtores de cacau na América Latina e no mundo. A metodologia adotada foi de pesquisa bibliográfica, com a obtenção de dados diretos e indiretos oriundos de órgãos oficiais, além da pesquisa em literatura científica, fazendo uso do método dedutivo como vetor central da condução dos trabalhos. Os resultados identificaram os benefícios ambientais e econômicos da utilização da biomassa de casca de cacau como fonte energética.

2. A produção de cacau no Brasil e no mundo

A quase totalidade da produção mundial de cacau em amêndoas está distribuída em 12 países, sendo: 5 nas Américas, a saber, Brasil, Colômbia, Equador, Peru e República Dominicana; 5 na África, a saber, Camarões, Costa do Marfim, Gana, Nigéria e Uganda; e 2 na Ásia e Oceania, a saber, Indonésia e Papua Nova Guiné. Nesse contexto, as estimativas de produção da safra 2020/2021 calculam 875 mil toneladas nas Américas, 3.871 mil toneladas na África e 278 mil toneladas na Ásia e Oceania, correspondendo respectivamente a 17%, 77% e 6% da produção mundial estimada para o período (ZUGAIB, 2021). Nota-se especialmente a importância da cultura cacaueira para o hemisfério sul global.

A produção de cacau no Brasil ocupou em 2020 uma área de 589.153 hectares destinada à colheita, distribuída principalmente nos estados da Bahia, Pará, Espírito Santo e Rondônia, somando uma produção de cerca de 270 mil toneladas (IBGE, 2021), conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Área destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção do cacau em amêndoas, Brasil, 2011 a 2020

Ano	Área destinada à colheita (Hectares)	Área colhida (Hectares)	Quantidade produzida (Toneladas)	Rendimento médio da produção (kg por Hectare)	Valor da produção (Mil Reais)
2011	682.482	680.484	248.524	365	1.272.811
2012	686.541	684.333	253.211	370	1.234.157
2013	692.435	689.276	256.186	372	1.214.038
2014	707.106	704.122	273.793	389	1.589.535
2015	704.288	702.841	278.299	396	2.202.371
2016	732.585	720.055	213.871	297	2.007.189
2017	591.199	590.813	235.809	399	1.686.447
2018	577.550	577.191	239.318	415	2.167.200
2019	582.010	581.897	259.451	446	2.514.258
2020	589.153	588.501	269.731	458	3.223.892

Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal, 2021.

A média anual estimada de cacau em amêndoas produzido no Brasil nos últimos dez anos foi 252.819 toneladas, sendo a participação baiana média de 134.435 toneladas no mesmo período

(IBGE, 2021), conforme Tabela 2. As safras 2015/2016 e 2016/2017 foram duramente impactadas pela crise hídrica na Bahia (CEPLAC, 2016). Segundo Vieira (2016) a seca se agravou na Bahia a partir de 2015, atingindo áreas do sul e sudoeste do Estado que historicamente não sofriam com estiagem tão longa e severa. A precipitação pluviométrica em cidades da região cacaueira da Bahia teve redução de 18% a 96% em 2015, comparada à média dos quinze anos anteriores, com grave queda da disponibilidade de água nos mananciais hídricos no ano de 2016 (CEPLAC, 2016). Canal Rural (2017) e ABAG (2017) destacam que a crise hídrica foi a principal responsável pela queda da produção de cacau em 2016, especialmente na Bahia, a despeito de ter atingido todas as regiões produtoras nacionais.

Tabela 2 – Área destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção do cacau em amêndoas, Bahia, 2011 a 2020

Ano	Área destinada à colheita (Hectares)	Área colhida (Hectares)	Quantidade produzida (Toneladas)	Rendimento médio da produção (kg por Hectare)	Valor da produção (Mil Reais)
2011	533.315	533.315	156.289	293	823.412
2012	532.074	532.074	159.432	300	805.378
2013	532.268	532.268	152.592	287	773.474
2014	547.722	547.422	161.096	294	873.545
2015	539.750	539.750	158.432	294	1.310.915
2016	565.145	553.592	115.756	209	1.108.581
2017	422.163	422.147	106.246	252	738.120
2018	420.528	420.523	113.939	271	994.849
2019	413.065	413.064	113.065	274	1.151.795
2020	410.676	410.076	107.499	262	1.314.334

Fonte: IBGE – Produção Agrícola Municipal, 2021.

É possível inferir dos dados da Tabela 2, por exemplo, que, após a crise hídrica de 2015 a 2017 e a consequente queda de produção, a área destinada à colheita de cacau na Bahia reduziu aproximadamente em 145.000 hectares, sendo, certamente, a produção um fator decisivo, que poderia ser aplacado pela rentabilidade de subprodutos da lavoura.

2.1. A casca de cacau como subproduto da lavoura

A produção de uma tonelada de amêndoas ocasiona a produção de seis (SODRÉ, 2008, apud CORREA et al., 2016) a oito toneladas (COUTINHO, 2018; PEREIRA, 2013; SILVA, 2018) de casca de cacau fresca. A biomassa obtida a partir da casca do cacau é uma promissora fonte de combustível, similar a outros resíduos agrícolas também utilizados na produção energética (CORREA et al., 2016; PEREIRA, 2013; PINHEIRO; SILVA, 2017; SILVA, 2018). Devido ao alto teor de umidade, a biomassa de casca de cacau, para uso seco, deve ser transformada em chips antes da utilização, resultando em uma massa seca equivalente a 20% da massa fresca (PEREIRA, 2013).

Tais dados sugerem que, na visão mais conservadora (razão de seis toneladas de biomassa de casca de cacau fresca para uma tonelada de amêndoas de cacau), a lavoura cacaueira no Brasil produziu em média no último decênio 1.618.386 toneladas de biomassa de casca de cacau fresca ao ano, sendo 644.994 toneladas na Bahia. Essa matéria-prima subaproveitada pode ser convertida em diversas fontes de energia, utilizada pela forma tradicional da biomassa ou comercializada no merca-

do via briquetes e pellets. Com isso, a utilização do subproduto do cacau pode servir como incremento da renda ao cacaueiro e estabelecer relações mais favoráveis com o meio ambiente ao diminuir a demanda por outros recursos energéticos ou a própria conversão do uso da terra.

3. A biomassa como fonte de energia

Segundo dados da IEA (2021), o uso tradicional da biomassa correspondeu em 2020 a 4% do fornecimento mundial de energia, parcela ainda significativa de tal fonte. A participação do uso tradicional da biomassa foi superior à participação de outras fontes de energia, como solar, eólica, hídrica, bioenergia sólida moderna, bioenergia líquida moderna, bioenergia gasosa moderna e outras renováveis, todas consideradas individualmente (Tabela 3). Nesse contexto, a biomassa de casca de cacau pode substituir parte do uso tradicional da biomassa. Segundo Odesola et al (2010), a conversão da biomassa de casca de cacau em biocarvão tem eficiência de 79,9% de conversão.

Tabela 3 – Fornecimento mundial de energia, 2020

Fornecimento total de energia	Cenário em 2020 (EJ)	Participação (%)
Renováveis	68.5	12
<i>Solar</i>	4.7	1
<i>Eólica</i>	5.7	1
<i>Hídrica</i>	15.6	3
<i>Bioenergia sólida moderna</i>	31.8	5
<i>Bioenergia líquida moderna</i>	3.8	1
<i>Bioenergia gasosa moderna</i>	2.2	0
<i>Outras renováveis</i>	4.5	1
Uso tradicional da biomassa	24.1	4
Nuclear	29.4	5
Gás natural	138.7	24
Gás natural com CCUS	0.4	0
Petróleo	171.4	29
<i>Uso não energético</i>	28.5	5
Carvão	155.8	26
Carvão com CCUS	0	0

Fonte: IEA (2021), Tabela A.1c: Fornecimento mundial de energia

Para Pereira, (2013), uma plantação de cacau que produza cerca de uma tonelada ao ano pode apresentar potência de 0,76 kW, correspondente ao excedente de energia em um sistema de cogeração de energia para secagem de amêndoas e geração de eletricidade do excedente em unidades descentralizadas. Em todo caso, o aproveitamento da biomassa de casca de cacau contribui favoravelmente para a eficiência do sistema produtivo e diminui, ainda que de forma discreta, a demanda por outras fontes energéticas e a pressão sobre outros recursos naturais.

Todos os dados foram cruzados nas Tabelas 4.1 e 4.2, oportunizando a estimativa de dados sobre produção de cacau em amêndoas, biomassa de casca de cacau fresca, biomassa de casca de cacau seca, potência equivalente em sistema de cogeração e possibilidade de conversão em biocarvão em diversas áreas geográficas.

Tabela 4.1 – Estimativa de produção de cacau em amêndoas, biomassa de casca de cacau fresca, biomassa de casca de cacau seca, potência equivalente em sistema de cogeração e possibilidade de conversão em biocarvão, continentes, 2021

Origem	Cacau em amêndoas (Toneladas)	Biomassa de casca de cacau fresca (Toneladas) ¹	Biomassa de casca de cacau seca (Toneladas) ²	Potência equivalente em sistema de cogeração (kW) ³	Possibilidade de conversão em biocarvão (Toneladas) ⁴
Américas	875.000	5.250.000	1.050.000	798.000	838.950
África	3.871.000	23.226.000	4.645.200	3.530.352	3.711.515
Ásia e Oceania	278	1.668	333	253	266

Notas: 1. Utilizada a razão de seis toneladas de casca de cacau fresca para uma tonelada de cacau em amêndoas. 2. Utilizada a razão de uma tonelada de casca de cacau seca para cada cinco toneladas de casca de cacau fresca. 3. Utilizada a razão de 0,76kW para cada tonelada de biomassa de casca cacau seca em chips em sistema de cogeração, sendo a razão correspondente ao excedente. 4. Utilizada a razão de 0,799 para cada tonelada de biomassa de casca cacau seca em *chips*.

Fonte: COUTINHO, 2018; ODESOLA; et al, 2010; PEREIRA, 2013; SILVA, 2018; SODRÉ, 2008, apud CORREA et al., 2016; ZUGAIB, 2021.

Enquanto os dados da Tabela 4.1 referem-se a regiões continentais do mundo, a Tabela 4.2, abaixo referem-se ao Brasil e à Bahia. Desse modo, é possível tem uma percepção da realidade global, assim como observar circunstanciais nacionais brasileiras.

Tabela 4.2 – Estimativa de produção de cacau em amêndoas, biomassa de casca de cacau fresca, biomassa de casca de cacau seca, potência equivalente em sistema de cogeração e possibilidade de conversão em biocarvão, Brasil e Bahia, 2020

Origem	Cacau em amêndoas (Toneladas)	Biomassa de casca de cacau fresca (Toneladas) ¹	Biomassa de casca de cacau seca (Toneladas) ²	Potência equivalente em sistema de cogeração (kW) ³	Possibilidade de conversão em biocarvão (Toneladas) ⁴
Brasil	269.731	1.618.386	323.677	245.994	258.618
Bahia ⁵	107.499	644.994	128.999	98.039	103.070

Nota: 1. Utilizada a razão de seis toneladas de casca de cacau fresca para uma tonelada de cacau em amêndoas. 2. Utilizada a razão de uma tonelada de casca de cacau seca para cada cinco toneladas de casca de cacau fresca. 3. Utilizada a razão de 0,76kW para cada tonelada de biomassa de casca cacau seca em *chips* em sistema de cogeração, sendo a razão correspondente ao excedente. 4. Utilizada a razão de 0,799 para cada tonelada de biomassa de casca cacau seca em *chips*. 5. Os dados da Bahia são uma fração já contabilizada nos dados do Brasil.

Fonte: COUTINHO, 2018; IBGE, 2021; ODESOLA; et al, 2010; PEREIRA, 2013; SILVA, 2018; SODRÉ, 2008, apud CORREA et al., 2016.

A biomassa de casca de cacau tem a versatilidade de servir a outras fontes de produção de energia através de processos termoquímicos de combustão direta, gaseificação ou pirólise e processos biológicos de biodigestão ou hidrólise da lignocelulose (PEREIRA, 2013; SANTOS, 2016). A biomassa de casca de cacau tem caracterização semelhante à de outros resíduos que já são transformados em combustíveis, com poder calorífico semelhante ao do bagaço da cana de açúcar e superior ao do eucalipto, variando de 15,89 a 19,04 MJ/kg em valores da literatura. O elevado teor de cinzas

merece atenção nos processos termoquímicos, mas possibilita a utilização das cinzas como fonte de minerais (COUTINHO, 2018; PEREIRA, 2013; SANTOS, 2016).

4. Conclusão

A biomassa de casca de cacau é uma alternativa importante de aproveitamento energético (SANTOS, 2016), sendo, por exemplo, (i) para Coutinho (2018), promissora a pirólise para a produção de bio-óleo; (ii) para Batista (2014), vantajosa a biodigestão anaeróbia para a produção de biogás, em razão da alta biodegradabilidade orgânica; (iii) para Pinheiro e Silva (2017) e para Silva (2018), promissora a fermentação para a produção de bioetanol, diante da favorável obtenção de açúcares fermentescíveis.

Destarte, a biomassa de casca de cacau é um resíduo aproveitável da lavoura cacaueira para fins energéticos. A adoção de práticas de utilização pode ocorrer em diversos países produtores de cacau na América Latina e no mundo. Além disso, a biomassa de casca de cacau pode incrementar a renda através da comercialização de energia, bio-óleo, biogás, bioetanol, biocarvão, briquetes ou pellets. Somam-se ainda as possibilidades de servir para a alimentação animal e produção de fertilizantes orgânicos (PEREIRA, 2013; COUTINHO, 2018), assim como biofertilizantes e substrato para a produção de enzimas (BATISTA, 2014).

Agradecimentos

Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Greenhouse Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19).

Bibliografia

ABAG (Associação Brasileira do Agronegócio). A importação complementar de cacau, é preciso para manter a produção. **ABAG (Associação Brasileira do Agronegócio)**, 10 de fev. de 2017. Disponível em: <<https://abag.com.br/a-importacao-complementar-de-cacau-e-preciso-para-manter-a-producao/>>. Acesso em: 02 dez. 2021.

BATISTA, Renato Rocha. **Rotas de aproveitamento tecnológico de resíduo orgânico agrícola: casca de coco, casca de cacau e casca de café – destinadas à geração de energia**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo. São Mateus, 2014. 108 f.

CANAL RURAL. Brasil passa por forte redução na produção de cacau. **Canal Rural**, 08 de fev. de 2017. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/noticias/brasil-passa-por-forte-reducao-producao-cacau-65977/>>. Acesso em: 02 dez. 2021.

CEPLAC (Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira). **Nota Técnica: Ocorrência de período seco prolongado na Região Cacaueira da Bahia e seus efeitos sobre a economia, os recursos hídricos e a sociedade**. MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento): Brasília, 2016.

CORREA, G.C. et al. Caracterização e combustão da casca do cacau. **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. [S.I.], v. 1, 25 a 29 de setembro de 2016. Disponível em: <https://proceedings.science/proceedings/44_papers/41283/download/fulltext_file3>. Acesso em: 23 ago. 2021.

COUTINHO, Brunela Azeredo. **Aspectos fundamentais da pirólise da casca de cacau: análise da cinética do processo e dos efeitos de condições operacionais sobre os produtos.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo. São Mateus, 2018. 81 f.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA:** Banco de Tabelas Estatísticas, 2021. Produção Agrícola Municipal: Tabela 1613. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>>. Acesso em: 02 dez. 2021.

IEA (International Energy Agency). **World Energy Outlook 2021.** França: International Energy Agency, 2021.

ODESOLA, I. F. et al. Development of local technology for a small-scale biochar production processes from agricultural wastes. **Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences**, v. 1, n. 2, p. 205-208, 2010.

PEREIRA, Ivan de Oliveira. **Viabilidade da utilização da casca de cacau como combustível no aquecimento de ar para a secagem de amêndoas de cacau.** Tese (doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2013. 123 f.

PINHEIRO, I. R.; SILVA R. O. Reaproveitamento dos Resíduos Sólidos da Indústria Cacaueira. **V Semana da Engenharia Química da Universidade Federal do Espírito Santo.** [S.I.], v. 4, abril 2017. Disponível em: <<https://www.proceedings.blucher.com.br/download-pdf/284/25548>>. Acesso em: 23 ago. 2021.

SANTOS, Maiquel Moreira Nunes. **Aproveitamento tecnológico da casca do cacau para a geração de energia.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo. São Mateus, 2016.

SILVA, Rhuany de Oliveira. **Utilização dos resíduos sólidos da indústria cacaueira para a produção de etanol.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. Alegre, 2018.

VIEIRA, Cristina. Seca no sul e sudoeste da BA causa impacto na agricultura e na pecuária. **Globo Rural**, 01 de ago. de 2016. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/globo-rural/noticia/2016/07/seca-no-sul-e-sudoeste-da-ba-causa-impacto-na-agricultura-e-na-pecuaria.html>>. Acesso em: 02 dez. 2021.

ZUGAIB, Antonio Cesar Costa. **Boletim Técnico nº 222: O Mercado nacional e internacional de Cacau em amêndoas e derivados.** Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 2021. 72p.

Um estudo do arcabouço regulatório e políticas regulatórias nacionais em relação aos combustíveis veiculares e sua contribuição/aderência às Nationally Determined Contributions e perspectivas futuras quanto às emissões de Gases do Efeito Estufa

A study of the regulatory outline and regulatory policies regarding vehicular fuels and its contribution/adherence do the Nationally Determined Contributions and future perspectives about Greenhouse Gas emissions.

Jade Liu De Almeida¹

Hirdan Katarina Medeiros Costa²

Thiago Luis Felipe Britto³

Dominique Mouette⁴

Sumário: 1. Introdução. 2. Desenvolvimento. 3. Conclusão. Bibliografia.

Resumo: O presente projeto de pesquisa tem como objetivo estudar o conjunto de regulamentações e políticas no Brasil em relação às Nationally Determined Contributions (NDC), diretrizes voluntárias de ação regulatória para a emissão de gases do efeito estufa criadas pelo Acordo de Paris. Tendo a legislação e informações coletadas por órgãos regulatórios como base para o presente estudo, busca-se analisar a situação e impacto do setor veicular quanto às emissões de GEEs e como estão se dando ações para o controle e mitigação dos impactos gerados por tais emissões, assim como perspectivas futuras tanto quanto à diminuição sensível dos GEEs quanto à substituição da matriz energética baseada em combustíveis fósseis para uma baseada em combustíveis ditos de “baixo carbono”.

Palavras-chave: legislação; gases de efeito estufa; combustíveis fósseis; NDC.

Abstract: This research project aims to study Brazilian policies and regulations regarding their adherence to the Nationally Determined Contributions, voluntary guidelines established by the UN for the control of greenhouse gas emissions through the Paris Agreement. This project aims to analyze the situation and the impact of the vehicular sector on the GHG emissions, as well as the contribution of Brazilian policies and laws for its control. Finally, this project seeks to observe future perspectives regarding the gradual decrease of vehicular GHG emissions and the possibilities of an energetic transition with the use of low carbon sources.

Keywords: legislation; greenhouse gasses; fossil fuels, NDC.

1. Introdução

A poluição é definida por Dashesky (2003, apud Fernandez, 2009) como uma mudança negativa a alguma parte da biosfera ou aspecto de nossa vida, causando, se não houver intervenção, aborrecimentos, doenças, mortes e até mesmo extinção de espécies; sendo assim, no caso da poluição atmosférica, o que é prejudicado é a qualidade do ar, com alterações às características físicas, químicas e biológicas normais à atmosfera, prejudicando tanto organismos vivos como materiais e meios.

1 Aluna de Gestão Ambiental na Universidade de São Paulo - jadeliuai@gmail.com

2 Doutora em ciências da energia - hirdan@usp.br

3 Doutor em ciências da energia - thiagobrito@usp.br

4 Professora orientadora de pesquisa, doutora em engenharia de transportes - dominiquem@usp.br

Por sua vez, já em 1990, a Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990 dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR e apresenta-se da seguinte maneira:

"considerando a necessidade de ampliar o número de poluentes atmosféricos passíveis de monitoramento e controle no País, e define como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar:

- I - impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde;
- II - inconveniente ao bem-estar público;
- III - danoso aos materiais, à fauna e à flora.
- IV - prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade." (Brasil, 1990)

A poluição do ar, apesar de ter sido gerada ativamente de forma natural no meio ambiente, com o lançamento de material particulado e gases pela atividade vulcânica e tempestades, dentre outros fenômenos e fontes poluentes, desde os primórdios da existência da Terra, teve um aumento substancial da geração de origem antrópica. O referido aumento, tendo tido início devido à Revolução Industrial, com a ascensão dos combustíveis fósseis (carvão fóssil, petróleo, gás natural) como base para a geração de energia para as atividades humanas, e, por consequência, aumento da geração de gases potencializadores do efeito estufa [sendo os principais gases reconhecidos de maneira geral o Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hexafluoreto de Enxofre (SF₆) e duas famílias de gases, Hidrofluorcarbono (HFC) e Perfluorcarbono (PFC)], níveis sem precedentes foram atingidos sobretudo nas últimas décadas, com o desenvolvimento tecnológico e, assim, maior lançamento dos elementos na atmosfera devido às atividades industriais, mineradoras, agropecuárias, transporte, entre muitos outros.

A legislação brasileira, de maneira abrangente, considera "concentrações de dióxido de enxofre, partículas totais em suspensão, produto entre partículas totais em suspensão e dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, partículas inaláveis, fumaça, dióxido de nitrogênio(...)" (RESOLUÇÃO CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990), embora existam normas específicas para outros tipos de poluentes; no presente estudo, serão os listados pela resolução citada os levados em consideração, devido ao fato de serem estes os mais reconhecidos pela literatura, legislação e regulamentação nacional e internacional e mais documentados por estudos prévios devido à sua maior notoriedade na questão das mudanças climáticas tanto por sua presença em maior quantidade na atmosfera quanto por seu alto potencial danoso.

Com o avanço nos estudos e possibilidades de análise, predição e comprovação dos efeitos gerados pela maior carga de poluentes na atmosfera na população humana e meio ambiente, e com a conclusão de que estes efeitos são suficientes para afetar a humanidade e meio ambiente como um todo, assim como suas atividades econômicas, ao longo das últimas décadas também houve ascensão, tanto no senso comum das populações quanto nas esferas administrativas locais e mundiais, do tópico ambiental, a necessidade de recuperação, mitigação e mudança de paradigma para controlar os efeitos já existentes e os previstos caso não ocorra mudança no ritmo e modo de desenvolvimento das atividades humanas, tendo sido observados, nos últimos anos, esforços e discussões na direção do controle, legislação e regulamentação das atividades humanas como um todo para o menor impacto possível sobre o meio ambiente já sobrecarregado.

Como importante resposta às crescentes preocupações a respeito da questão ambiental, o Acordo de Paris, aprovado por 195 países durante a 21^a Conferência das Partes (COP21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) em dezembro de 2015, representa

um marco nas políticas de combate às mudanças climáticas, sendo que o objetivo principal do Acordo é limitar o aumento de temperatura neste século a níveis significativamente inferiores a 2°C em relação aos níveis pré-industriais, e empenhar esforços para limitar esse aumento a 1.5°C.(HOLLANDA, 2016); é importante reiterar que o aumento observado e previsto é advindo da concentração de gases potencializadores do efeito estufa na atmosfera, e, assim, o controle da quantidade destes é crucial para que seja atingido tal objetivo. A alta adesão dos países já na primeira data disponível para sua assinatura indica que o mundo caminha de maneira inexorável para uma economia de baixo carbono, tendo sido internacionalmente reconhecido o risco oferecido pelo aquecimento causado pela emissão dos Gases de Efeito Estufa, sobretudo o CO₂, sendo este o principal foco para as políticas reducionistas e conservacionistas que visam a sustentabilidade e o desenvolvimento sustentável. Mattei (2013) destaca a dependência cada vez maior da matriz energética mundial dos combustíveis fósseis de acordo com dados do IEA (2009), o que aponta para a necessidade de discussões a respeito da transição energética.

Tendo em vista que, no mundo, o transporte é o maior consumidor de combustíveis derivados do petróleo, responsável por 57% da demanda global de petróleo (Cazzola et al., 2016), e, além disso, 93% do uso final de energia no transporte mundial é originado de derivados de petróleo (BD, 2018), assegurar a sustentabilidade da mobilidade de pessoas e carga é um desafio crucial para todo o mundo nas próximas décadas. Um passo importante foi dado no estabelecimento de metas de Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC, na sigla em inglês), sendo a brasileira uma das mais ambiciosas, visando reduzir em 37% as emissões de GEE até 2025 e 43% até 2030, em comparação aos índices de 2005.

Assim, o presente estudo busca analisar o conjunto regulatório e de políticas nacionais e internacionais em relação aos combustíveis veiculares e o setor de transportes e sua contribuição à aderência às NDCs.

2. Desenvolvimento

Tendo em vista a importância do setor de transportes para a manutenção do estilo de vida moderno e, na perspectiva local, a predominância do sistema rodoviário para o transporte pessoal e de mercadorias no Brasil, este configura-se como importante ponto focal das leis e políticas públicas para controle dos GEEs e do aquecimento global o controle das fontes de emissões destes no setor de transporte, tanto no Brasil quanto no mundo;

Dentre as respostas do Acordo de Paris para a questão do aquecimento global e redução de emissões de GEEs, estão as Nationally Determined Contributions (NDC), compromisso voluntário para a redução de emissões de GEEs e adaptação aos impactos das mudanças climáticas estabelecido entre países signatários que permitem que cada país adapte suas ações, definindo leis e políticas públicas para descarbonização nos distintos segmentos da economia – entre estes o uso da terra, transporte, indústria e energia de acordo com sua realidade, necessidades e recursos disponíveis. O caráter geral das NDCs gira em torno do tema de controle das emissões de GEEs e adaptação aos efeitos das mudanças climáticas; a agenda ambiental brasileira, por sua vez, é regulada pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), e a NDC brasileira reafirma o compromisso de redução das emissões líquidas totais de gases de efeito estufa em 37% em 2025, assume oficialmente o compromisso de reduzir em 43% as emissões brasileiras até 2030 e também enuncia o objetivo indicativo de atingirmos a neutralidade climática – ou seja, emissões líquidas nulas – em 2060 (IBTS, 2020).

Desta maneira, tendo em vista a vultosa contribuição do setor de transportes brasileiro para as emissões de GEEs, contando com cerca de 27% destas, e a ambição do país determinada a diminuir em 43% suas emissões até 2030, faz-se necessária a análise das propostas de intervenção e

mitigação quanto ao setor dos transportes no país, discutindo-se a legislação relevante relacionada e comparando-a com as normas e leis existentes internacionalmente, assim como sua ligação com o alcance e efetividade das NDC brasileiras ligadas a esse setor.

3. Conclusão e agradecimentos

Para analisar a viabilidade, eficácia, eficiência e aplicabilidade das medidas para controle e redução das emissões de carbono, é essencial realizar análise das principais leis e normas relacionadas no país, assim como coletar informações a partir de órgãos e entidades responsáveis pela síntese de dados a respeito do assunto tanto nacional quanto internacionalmente, para, finalmente, ser possível observar se há aderência às Nationally Determined Contributions a partir dos dados coletados. Sendo assim, os próximos passos envolvem a análise de materiais relevantes ao tema em estudo, seguindo as seguintes etapas:

- 1) Recolhimento de dados da legislação, políticas públicas e de órgãos e programas como a CET, CETESB, DETRAN, IBAMA, IBTS, PROCONVE e PROMOT dentre outros para obtenção de dados a respeito da evolução em direção às NDCs como, por exemplo, volume de veículos e emissões específicas no setor de transportes;
- 2) Análise dos dados levantados sobre o panorama internacional de regulamentação de emissões de CO₂ e combustíveis veiculares e comparação com a realidade brasileira;
- 3) Apontar alterações e proposições importantes em termos de políticas públicas e normatização referentes ao transporte rodoviário que facilitariam o atingimento das metas propostas no acordo do Paris;
- 4) Conclusão da análise sobre a questão das emissões de GEEs e alcance das NDCs no setor de transportes dos pontos de vista econômico e ambiental e eventual publicação dos resultados.

Por fim, agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Bibliografia

- Andrade, André Luiz Campos, and Lauro Mattei. "A (in) sustentabilidade da matriz energética brasileira." (2013).
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. RESOLUÇÃO CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990. Brasília, 1990.
- Egler, Claudio. "Geopolítica Da Transição Energética." Informe CORECON (1992): n. pag. Print.
- Hollanda, Lavinia, et al. "Uma análise comparativa da transição energética na América Latina e Europa." (2016).
- IBTS. (2019) Transportes no Brasil – Panorama e Cenários Prospectivos para atendimento da Contribuição Nacionalmente Determinada. Rio de Janeiro.
- IBAMA. Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores – Proconve/Promot. 3. ed. Brasília: Ibama, 2011. 584 p. (Coleção Meio Ambiente. Série Diretrizes – Gestão Ambiental, n.º 3).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2014: Synthesis Report. 2014. Disponível em: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf.

Losekann, Luciano, and Felipe Botelho Tavares. Política Energética no BRICS: desafios da transição energética. No. 2495. Texto para Discussão, 2019.

Ministério de Minas e Energia (MME). Resenha energética brasileira – exercício 2009. Brasília, 2010. ROHRICH, Sandra Simm ; PEREIRA, N. M. . Descarbonização do Regime Energético Dominante: Perspectivas para a Economia do Hidrogênio no Brasil. Espaço Energia , v. 14, p. 11-22, 2011.

São Paulo (SP), PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, Lei 16.802 de 17/01/2018, disponível em: <http://documentacao.camara.sp.gov.br/iah/fulltext/leis/L16802.pdf>

Utilização da tecnologia blockchain em sistemas de recarga de carros elétricos na Macrometrópole Paulista

Use of blockchain technology in electric car charging systems in the São Paulo Macrometropolis

João Tadeu Alves Dos Santos¹

Célio Bermann²

Sumário: 1. Introdução. 2. Metodologia e Desenvolvimento. 3. Resultados e Discussões. 4. Conclusão. Bibliografia.

Resumo: A tendência crescente da eletrificação veicular no mundo se mostra um fenômeno dentro do contexto da transição energética. Enquanto o número de veículos elétricos cresce de forma expressiva em muitos países, no Brasil ele segue com um crescimento tímido. Este trabalho busca investigar como a inserção dos veículos elétricos pode ser mais ampla na região da Macrometrópole Paulista, quais são seus limitantes e a quais as características da infraestrutura presente atualmente. Conjuntamente, investigou-se o uso da tecnologia blockchain, que se mostra emergente e que tem potencial para impactar diversos setores, como fomentadora de novos modelos de negócios para este segmento, favorecendo sua expansão. A combinação destes levantamentos e análises estabelece o cenário atual das tecnologias utilizadas dentro do contexto de Smart Grid na região, enquanto indica os possíveis modelos que podem ser aplicados localmente. Definido este panorama, se torna possível averiguar o potencial para o futuro das soluções de recarga de veículos elétricos, considerando o crescimento da frota, ainda que de forma incipiente. As conclusões da combinação das informações sobre o recorte regional com a tecnologia blockchain entregam novos modelos exequíveis fornecendo modelos para o futuro do segmento e com possibilidade da sua exploração econômica. Contudo, as informações obtidas, frente aos requisitos dos modelos, demonstra a necessidade de evolução da infraestrutura de telecomunicações e Smart Grid, que darão sustentação estas soluções, garantindo sua operação e integração ao sistema elétrico.

Palavras-chave: Veículos Elétricos; Blockchain; Macrometrópole Paulista; Recarga.

Abstract: The growing trend of vehicular electrification in the world is a phenomenon within the context of the energy transition. While the number of electric vehicles grows significantly in many countries, in Brazil it continues with a timid growth. This work seeks to investigate how the insertion of electric vehicles can be broader in the region of the São Paulo Macrometropolis, what are its limitations and what are the characteristics of the infrastructure currently present. At the same time, the use of blockchain technology was investigated, which is emerging and has the potential to impact several sectors, as a promoter of new business models for this segment, favoring its expansion. The combination of these surveys and analyzes establishes the current scenario of the technologies used within the context of Smart Grid in the region, while indicating the possible models that can be applied locally. Having defined this scenario, it becomes possible to ascertain the potential for the future of electric vehicle charging solutions, considering the growth of the fleet, albeit in an incipient way. The conclusions of the combination of information on the regional cut with blockchain technology deliver new feasible models

¹ Mestre, SiDi e joao.t@sidi.org.br.

² Professor Doutor, Instituto de Energia e Ambiente/USP e cbermann@iee.usp.br.

providing models for the future of the segment and with the possibility of its economic exploitation. However, the information obtained, in view of the requirements of the models, demonstrates the need for evolution of the telecommunications infrastructure and Smart Grid, which will support these solutions, guaranteeing their operation and integration into the electrical system.

Keywords: Electric Vehicle; Blockchain; São Paulo Macrometropolis; Recharge.

1. Introdução

A eletrificação veicular se mostra uma tendência mundial em diversos países, possibilitando assim a diminuição de combustíveis fósseis e consequentemente, a redução de emissões de gases do efeito estufa (IEA, 2018). Esta tendência se encaixa diretamente na transição energética em curso e também nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) preconizados pela ONU (ONU, 2016). Embora a adesão aos veículos elétricos (VE) se mostre diferente ao longo dos continentes, pelos variados países, as montadoras estão traçando planos para redução na produção de carros que utilizem combustível fóssil, enquanto países tem trabalhado em regulamentações que acelerem essa mudança (IRENA, 2020a; UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2020). O setor empresarial, diante do conceito de Environmental, Social and Governance (ESG), encontra um novo paradigma com impactos financeiros em mercados globais devido a sustentabilidade de suas operações (HENISZ e colab., 2019). Atualmente algumas empresas estão migrando parte de suas frotas para veículos eletrificados, contribuindo assim para a redução de emissão de CO₂ dentro de sua cadeira produtiva (IEA, 2018).

Este cenário mundial reflete de forma diferente em cada país, com adesões diferentes quanto aos tipos de veículos, como híbridos e puramente elétricos, assim como no planejamento desta mudança (IRENA, 2020b). Dentro deste contexto, ainda são incipientes as tratativas de VEs dentro do território brasileiro, com ausência de definições claras quanto a inserção, regulamentação e planejamento setorial para esta mudança em curso. Entretanto, esta mudança, em menor ou maior escala, ocorrerá no Brasil, embora se mostre mais lenta que nos países do hemisfério norte (BURANELLI DE OLIVEIRA e colab., 2022; DA SILVA e colab., 2018). A eletrificação da frota de veículos de forma nacional poderá inclusive colocar o país em uma posição de destaque e referência mundial, quando observada a matriz elétrica brasileira. A redução de emissões por toda a cadeia, da geração de energia até a unidade veicular nas ruas, pode ser superior a demais países que possuem em sua matriz fontes de geração com maiores níveis de emissão de CO₂. (BURANELLI DE OLIVEIRA e colab., 2022)

Este trabalho, visando investigar a possibilidade desta inserção de VEs em território nacional, considerando a digitalização do setor e uso de tecnologias emergentes, definiu como recorte regional a ser avaliado a região da Macrometrópole Paulista (MMP), enquanto utilizou como tecnologia habilitadora o blockchain. Estas duas escolhas foram realizadas com foco na importância da MMP dentro do cenário nacional dada sua relevância energética e econômica, enquanto a tecnologia blockchain se mostra emergente e com interesse crescente frente ao mercado.

A região da MMP mostra-se um recorte regional pertinente para a compreensão do setor devido as suas características. Enquanto se trata de uma região dentro do estado de SP, compreendendo 174 municípios (IGC-SP, 2020), economicamente seu Produto Interno Bruto (PIB) corresponde a 30 % do PIB do Brasil (COLLAÇO e colab., 2020), ao passo que seu consumo de energia corresponde a 22 % do consumo brasileiro (SOARES, 2020). Com estes indicadores, a região se mostra um grande centro de consumo de energia e de circulação de bens, estabelecendo um cenário propício para uma avaliação quanto a abertura para eletrificação veicular e verificação da infraestrutura capaz

de suportar modernos sistemas de comunicação e Smart Grid. As demandas logísticas da região da MMP também demonstram a importância de soluções e investigações que permitam otimizar a malha de transportes na região, assim como estabelecer planos para sua eletrificação. O tráfego de cargas anual na região, para o ano de 2018, correspondeu a cerca de 290 milhões de ton, transportada por caminhões. Deste total, apenas 25% delas se originou no Porto de Santos, indicando que o transporte de cargas entre os municípios se mostra relevante (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020) e pode ser impactado pela eletrificação.

A utilização do blockchain em sistemas de Smart Grid se mostra como um interesse crescente, mobilizando academia e indústria na investigação deste tipo de integração e seus benefícios (MOUGAYAR, 2016; TAPSCOTT; TAPSCOTT, 2016). Por se tratar de uma tecnologia associada a criptoativos, dando sustentação à criação de criptomoedas e tokens, assim como mecanismos seguros e transparentes de transação, diversas soluções são estudadas para se beneficiarem destas características, criando uma nova geração de soluções (SWAN, 2015). Atualmente, sistemas para cibersegurança (GALICI e colab., 2019), controle de produção e comercialização de energia elétrica (DI SILVESTRE e colab., 2020), comercialização de certificados de energia renovável e emissão de créditos de carbono (PATEL e colab., 2020) são aplicações possíveis desta tecnologia, inclusive gerando uma maior integração dos sistemas de energia elétrica com o conceito de Smart City (DOS SANTOS; BERMANN, 2020; MACHADO e colab., 2020). Não de forma diferente, diversas pesquisas investigam os sistemas de recarga de veículos elétricos com base nesta tecnologia (FU e colab., 2020; MARCHI e colab., 2019), considerando integrações do tipo Vehicle-to-Grid (V2G) e a flexibilização na comercialização da energia utilizada na recarga dos VEs (BRILLIANTOVA; THURNER, 2019; KIM e colab., 2019).

Visando este cenário futuro, frente à inserção dos VE, juntamente com a modernização e abertura do mercado de energia elétrica, este trabalho busca compreender os modelos onde a aplicação da tecnologia blockchain pode corresponder a uma vantagem competitiva, dentro do recorte da MMP. Com estes dois objetivos, duas questões podem ser avaliadas e contribuir para futuras pesquisas na região, onde a primeira questão está centrada na infraestrutura atual da MMP e a adesão dos veículos elétricos, enquanto a segunda questão apresenta modelos inicialmente factíveis dentro deste cenário, mas os quais necessitam de aprofundamento e simulações em ambiente real.

2. Desenvolvimento e Metodologia

A investigação quanto à inserção de veículos elétricos e à possibilidade do uso de sistemas com base na tecnologia blockchain, envolveu o levantamento de dados relevantes dentro deste contexto. As investigações foram separadas pelo levantamento e análise de duas categorias de dados, uma focada na quantidade de carros elétricos e a infraestrutura de recarga, enquanto a segunda categoria corresponde ao levantamento e análise de dados referentes à infraestrutura de telecomunicação. A segunda categoria se mostra importante sob a perspectiva de implantação de soluções de hardware e software conectados, dentro do conceito de Smart Grid. Desta maneira, sistemas que dependem de comunicação entre equipamentos e centrais de operação, com troca de dados, supervisão e controle, são intimamente dependentes desta infraestrutura.

Inicialmente, foram coletados os dados referentes à quantidade de veículos elétricos presentes na MMP, os quais foram obtidos através da base de dados de veículos emplacados, presente no portal do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) e disponível com referência anual (MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, 2020). Por se tratar de uma base com dados nacionais, com diversas categorias de veículos e separadas por meses ao longo dos anos, optou-se pelo tratamento seguindo algumas premissas iniciais. Os dados foram consolidados utilizando dados entre os anos de 2014 e 2020,

uma vez que a categoria de carros elétricos se iniciou neste ano para as bases disponíveis. Optou-se pela inclusão dos arquivos de Dezembro de cada ano, agrupando assim os emplacamentos ao longo do ano analisado e por fim, foram segregados apenas os dados das cidades que compreendem a MMP.

Posteriormente os forma buscados os dados quanto aos eletropostos disponíveis na região da MMP. Contudo, não existem bases consolidadas e disponíveis a respeito destas informações. Embora a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) tenha uma regulamentação quanto a necessidade de registro dos eletropostos, não existe uma base disponível para pesquisas e levantamentos.

Algumas informações foram levantadas, não quantificando os dados regionais, mas indicando a presença de eletropostos na região da MMP. O primeiro conjunto de informações corresponde ao informativo de um projeto no âmbito do programa de Pesquisa e Desenvolvimento ANEEL, coordenado pela CPFL e denominado Emotive (CPFL ENERGIA, 2018). No material apresentado, são discriminados 23 pontos de recarga na Região Metropolitana de Campinas (RMC), a qual compõe a MMP. Após esta coleta, forma analisados os dados do portal PlugShare, onde informações sobre pontos de recarga podem ser inseridos por seus usuários ou empresas, formando uma base geolocalizadas destes eletropostos e disponível através de aplicativo e portal web (PLUGSHARE, 2022).

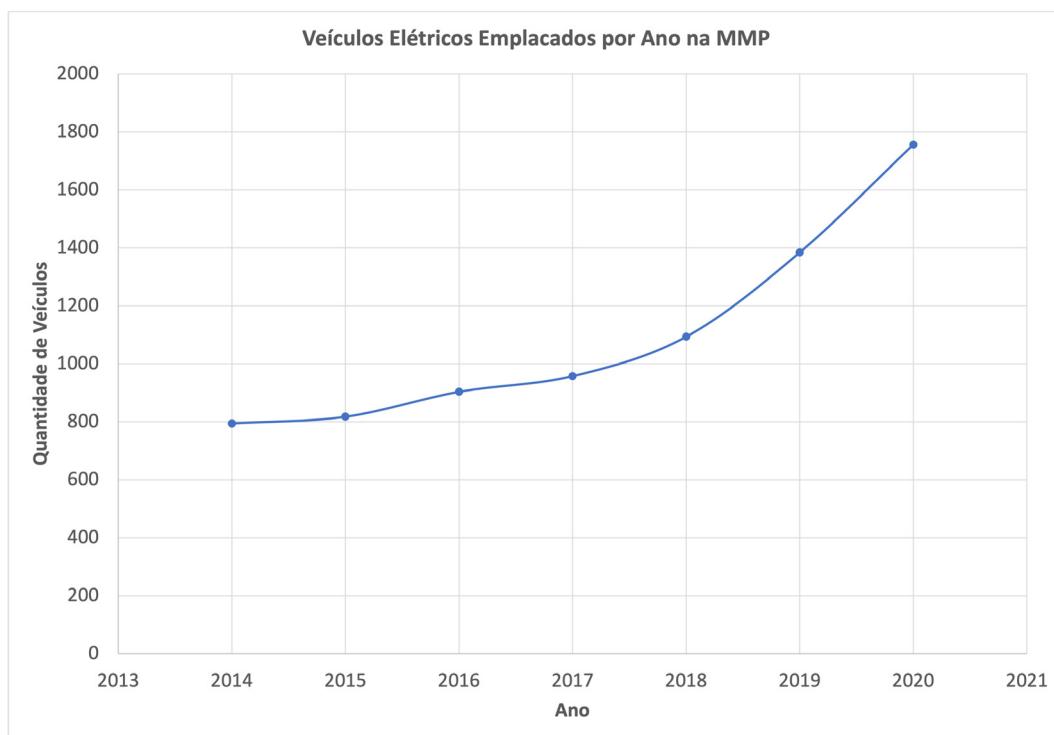
Quanto o segundo grupo de informações pertinentes a este contexto, foram levantados os dados quanto a presença de redes de dados móvel 4G, backhaul de fibra óptica nos municípios da MMP (TELECO, 2020) e de medidores inteligentes de energia (IBGE, 2020). Estes dados permitem compreender a infraestrutura de telecomunicações presentes na MMP, enquanto demonstram a abrangência das concessionárias quanto a utilização de medidores inteligentes dentro da MMP, aproveitando o conceito de Smart Grid e modernização da rede elétrica e uso de todo potencial de troca de dados.

Utilizando os dados destes levantamentos, foram propostos dois modelos adequados a infraestrutura da MMP, com observações quanto a limitações encontradas. Esta abordagem também considera um cenário já concluído de abertura de mercado, onde exista a flexibilidade de comercialização de energia, que extrapole as regulações atuais, abrindo espaço para discussões e investigações neste âmbito. Por fim, os modelos levantados podem ser impactos por regulações que não apenas atreladas ao setor elétrico, mas também mecanismos do setor financeiros, outra vertente que pode ser exploradas em outros trabalhos.

3. Resultados e Discussões

Os dados obtidos e tratados da base no DENATRAN revelam um aumento crescente no emplacamento de veículos elétricos dentro da MMP. Como apresentado na Figura 1, a quantidade de emplacamentos por ano nas cidades da MMP apresentou um grande crescimento entre os anos de 2017 a 2020, dobrando a volume de novos veículos emplacados neste intervalo. Embora a quantidade de veículos eletrificados se mostre como uma pequena fração frente a frota atual da região, os dados mostram uma tendência de crescimento na região.

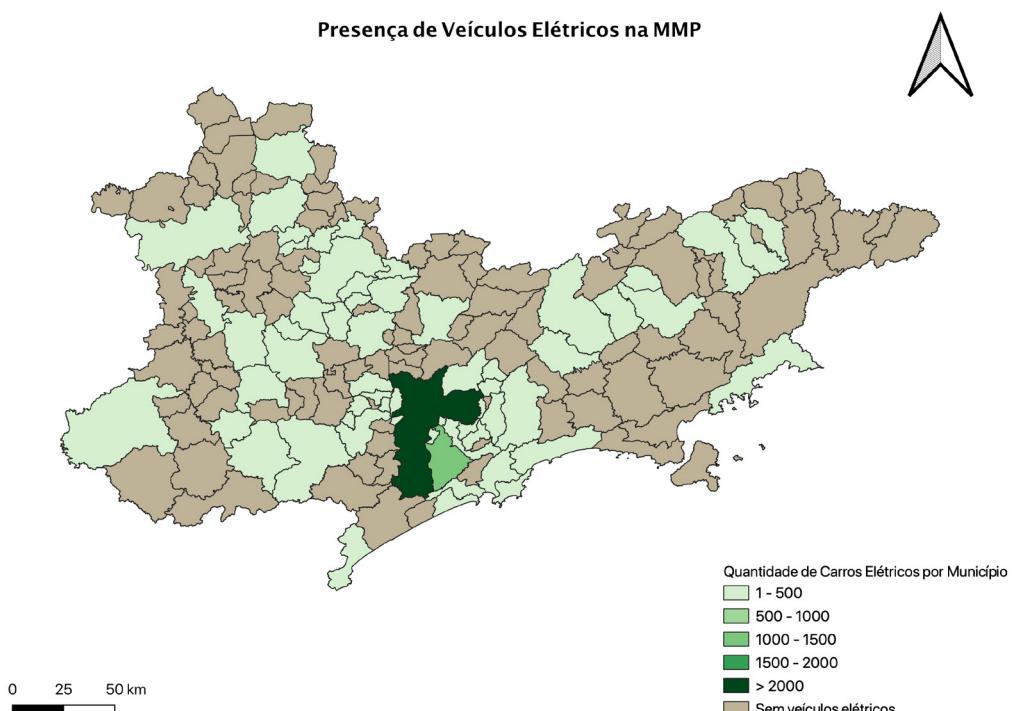
Figura 1 – Crescimento do emplacamento de veículos elétricos na MMP



Fonte: Autor, com dados de MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA (2020)

Quando observados o georreferenciamento destes dados, se torna possível avaliar os municípios onde hoje estão presentes os carros elétricos dentro do território da MMP e o alcance desta eletrificação. Atualmente, dos 174 municípios que formam a região da MMP, 62 contam com a presença de ao menos um veículo elétrico, frente 112 municípios que não dispõem deste tipo de mobilidade. A Figura 2 apresenta um mapa da MMP com a distribuição dos veículos elétricos por município, onde se observa uma maior presença dos veículos dentro da região metropolitana de São Paulo, onde atualmente estão alocados os dois municípios com a maior quantidade de veículos eletrificados da região. Enquanto a cidade de São Paulo possuía 5452 VEs em 2020, São Bernardo do Campo ocupava o segundo lugar em quantidade, com 1028 veículos. Essa quantidade se mostra relevantemente maior comparada com a cidade de Campinas, com seus 357 veículos, que ocupa a terceira posição como cidade com maior número de carros elétricos dentro da MMP.

Figura 2 – Municípios com VEs dentro da MMP

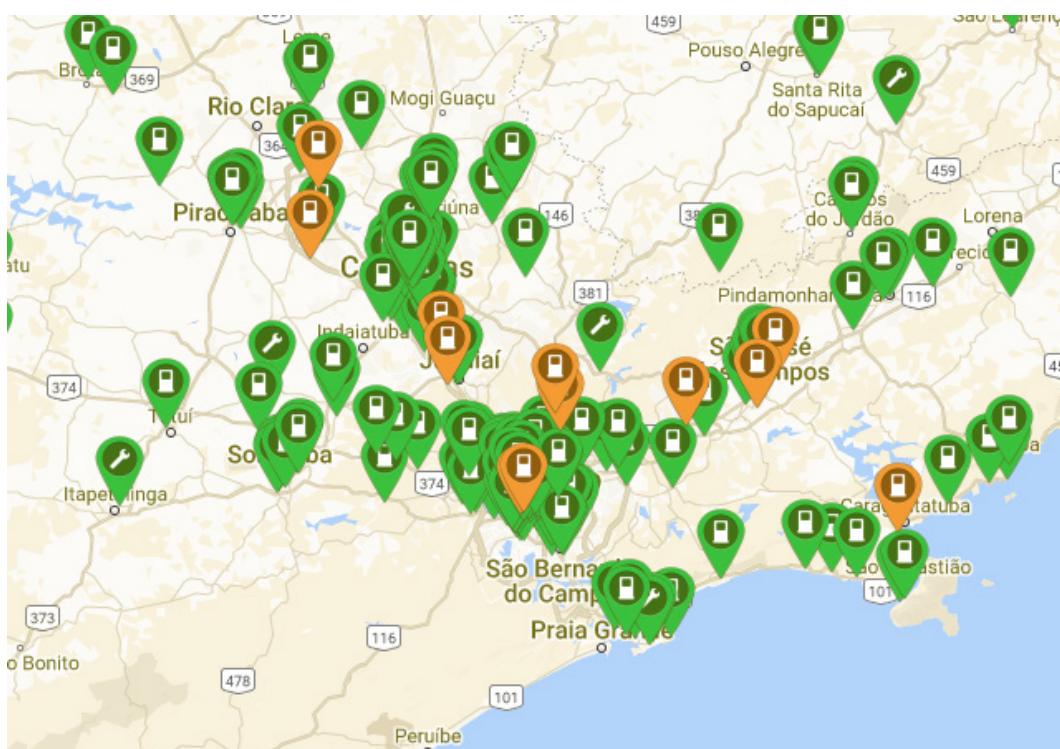


Fonte: Autor, com dados de MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA (2020)

Quando analisada a representação do sistema da PlugShare, observa-se que a quantidade de eletropostos está presente em boa parte da região da MMP, ainda que faltem dados quantitativos mais confiáveis com georreferenciamento e informações adicionais sobre os eletropostos, como potência e tipo de plug utilizado. A Figura 3 apresenta uma captura de tela do sistema, onde podem ser observados diversos pontos para recarga instalados nos municípios.

Alguns municípios por exemplo, possuem instalação de eletropostos, como o caso de Bragança Paulista e Araras, embora não possuam nenhum veículo emplacado na cidade. Isso pode demonstrar que mesmo cidades onde não existam carros elétricos podem ser parte de uma malha de infraestrutura de recarga para veículos em trânsito, favorecendo o transporte de passageiros ou carga, através de suas imediações.

Figura 3 – Eletropostos alocados dentro da MMP



Fonte: PLUGSHARE (2022)

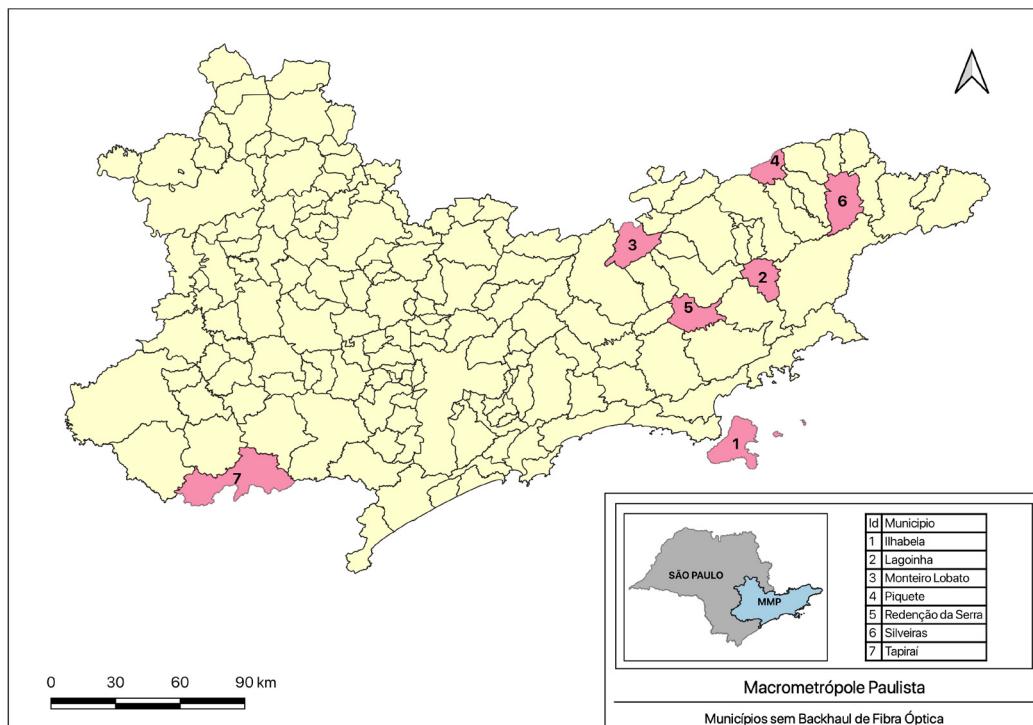
Embora se torne possível fazer inferências com base nestas observações obtidas no serviço da PlugShare, uma análise mais profunda e detalhada, permitindo o cruzamento de dados de forma mais consistente, demanda um base de dados confiável. Entretanto, estas observações permitem verificar que existe uma malha de recarga crescente, que pode atender a demanda existente de veículos, mas isso não é sustentável a longo prazo. Enquanto o volume de carros elétricos representa uma pequena fração da frota, o cenário atual não apresenta limitações graves, contudo, o crescimento da frota eletrificada exigirá uma expansão dos eletropostos na região.

Quando observados os dados de crescimento do uso de Geração Distribuída (GD) pelos municípios da MMP, nota-se um potencial de junção entre a eletrificação veicular e o novo comportamento do consumidor. A combinação destas duas temáticas representam o futuro do setor de transportes, com a busca pela redução do preço do combustível utilizado para o transporte e a redução de poluição promovida pela eletrificação. A abertura do mercado de energia elétrica deve se mostrar um caminho para esta junção, tornando-a benéfica para os prosumidores e para demais agentes do sistema, que podem explorar esse nicho.

O levantamento de dados referente a sistemas de telecomunicações e uso de medidores inteligentes na MMP demonstra, contudo, a necessidade de avanços de investimento em infraestrutura e uma adesão maior de componentes de Smart Grid por parte das concessionárias. Embora a região da MMP seja atendida em toda sua extensão pela rede móvel 4G (TELECO, 2020), outras classes de in-

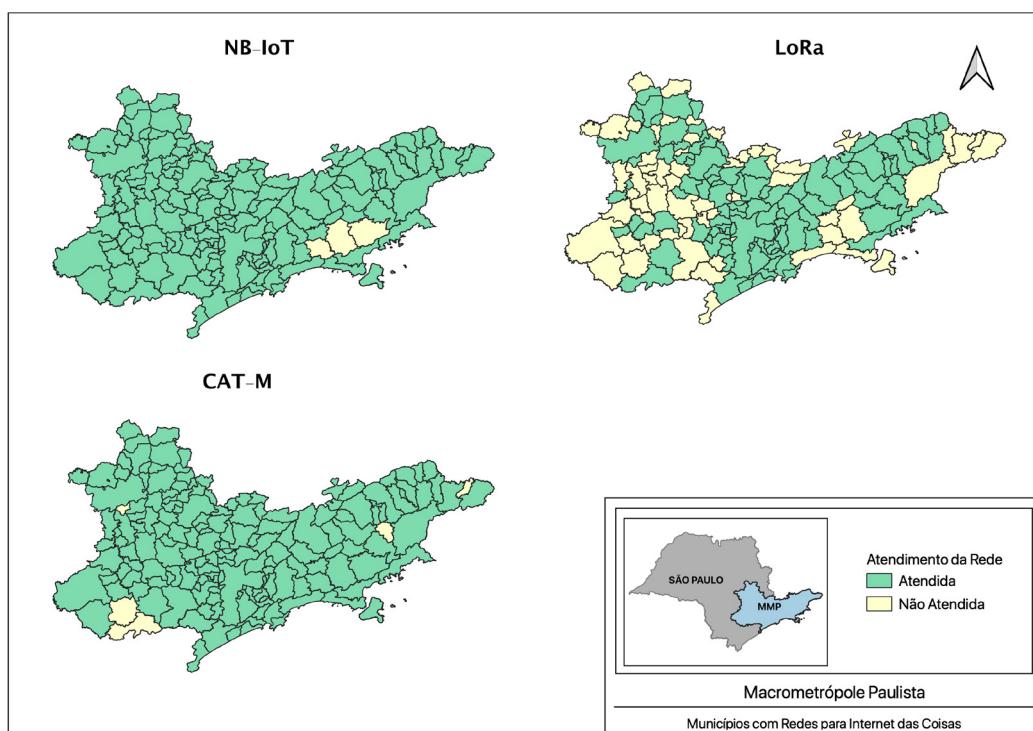
fraestrutura não atendem de forma completa os municípios da região. Enquanto a Figura 4 apresenta o atendimento de backhaul de fibra óptica dentro dos municípios da MMP, com ausência em poucos municípios, a Figura 5 mostra a presença de protocolos utilizados para sistema de Internet Of Things (IoT). Em ambos os casos, as infraestruturas apresentadas servem para sistemas de alta velocidade ou dedicados para aplicações industriais e das concessionárias, se apresentando como caminho crítico para implantação de soluções que viabilizem a modernização do setor elétrico.

Figura 4 – Indicação dos municípios sem Fibra Óptica na MMP



Fonte: Autor, com dados de (TELECO, 2020).

Figura 5 – Presença de Protocolos para IoT na MMP

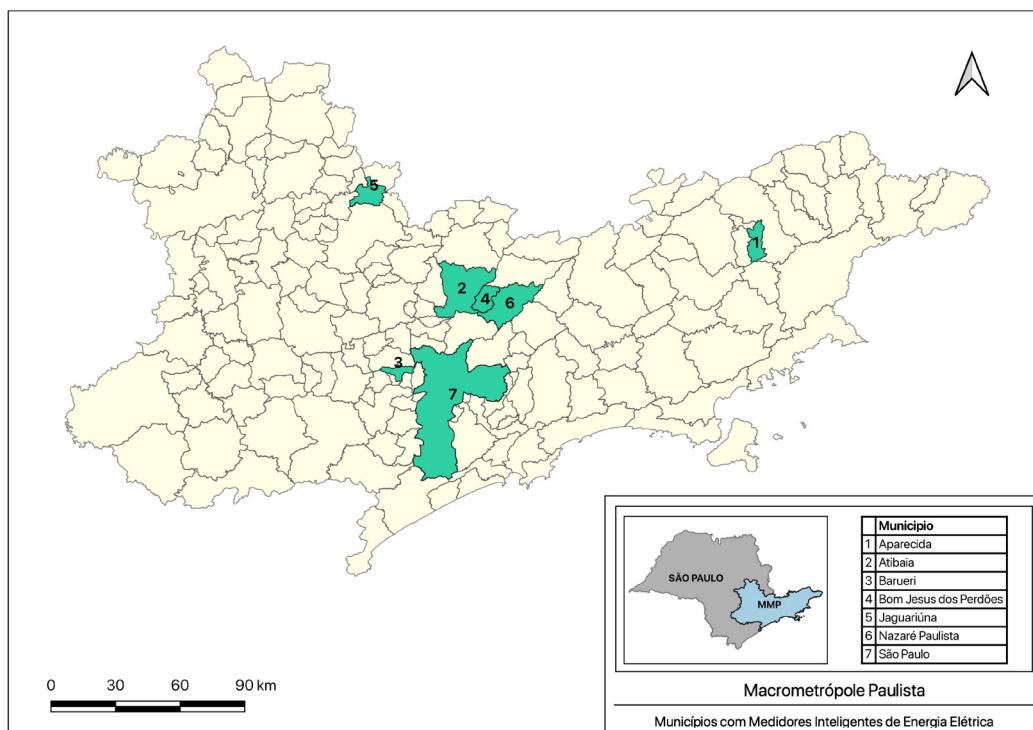


Fonte: Autor, com dados de (TELECO, 2020).

Como verificado, existem ainda cidades que não são atendidas com algumas destas infraestruturas, o que dificulta a implantação de sistemas e componentes modernos de Smart Grid que poderão auxiliar na modernização da rede elétrica e permitir diante a abertura do mercado. Ainda mais crítico que a infraestrutura de telecomunicações, a presença dos medidores inteligentes se mostra incipiente dentro da MMP.

A Figura 6 apresenta os municípios que atualmente utilizam medidores inteligentes por parte das concessionárias, embora em muitos casos, não represente um atendimento completo do município. Esta informação mostra um impacto grande quanto a expansão dos sistemas de recarga, uma vez que para o controle, gestão e monitoramento de um eletroposto moderno demanda soluções de telecomunicações e adesão de soluções similares aos medidores inteligentes.

Figura 6 – Municípios da MMP que possuem medidores inteligentes



Fonte: Autor, com dados da base (IBGE, 2020).

Os postos de recarga mais modernos contam com integração para troca de dados remota, na maioria das vezes utilizando o protocolo Open Charge Point Protocol (OCPP), fruto de uma aliança global de empresas do segmento. Através desta utilização, os dados de recarregamento, controle do sistema de carga, monitoramento das ações e pagamento, pode ser feito através de outros sistemas. Outros protocolos proprietários podem ser utilizados, a depender da rede de recarga e modelo de negócio, contudo a arquitetura sempre se mostra similar. As empresas que pretendem explorar esse nicho de negócio dependem da troca de informação, não apenas para comercialização, mas para planejamento e outros insights de mercado. Justamente dentro deste contexto, as informações da MMP se mostram interessantes como uma região a ser explorada, ainda que necessite de mais investimento para o futuro.

Dentro deste cenário, pode-se explorar soluções de blockchain, assim como novos modelos de negócio que se mostrem favoráveis e factíveis, utilizando as informações colhidas como insumos e condições de contorno para a proposição de novos modelos. Adiante são apresentados os modelos possíveis dentro da região, que podem ser desenvolvidos e investigados, tornando suas informações a base para o futuro do segmento com a abertura do mercado de energia elétrica e uma penetração maior dos veículos elétricos.

A abertura do mercado e a produção de energia pelos próprios consumidores ou empresas de geração de pequeno porte pode mudar a dinâmica atual da comercialização de energia, consequentemente, do setor de transportes eletrificados. Diferente da relação atual do mercado, onde o consumidor, dono de um veículo automotor, abastece seu veículo em postos e não pode produzir ali o combustível comercializado, a eletrificação modifica este cenário. O consumidor, agora prosumidor, deixa de depender de uma fonte fóssil com variação mundial em seu preço, para a produção de seu próprio

combustível, provendo o insumo necessário para a locomoção. Não distante deste cenário, a abertura do mercado permite o surgimento de empresas geradoras e comercializadoras para este segmento, embora atualmente a geração centralizada seja dominante para o fornecimento de energia, o futuro pode ser populado por geradores focados em nichos de mercado utilizando fontes, ou combinações de fontes, que agreguem valor e sejam economicamente viáveis economicamente.

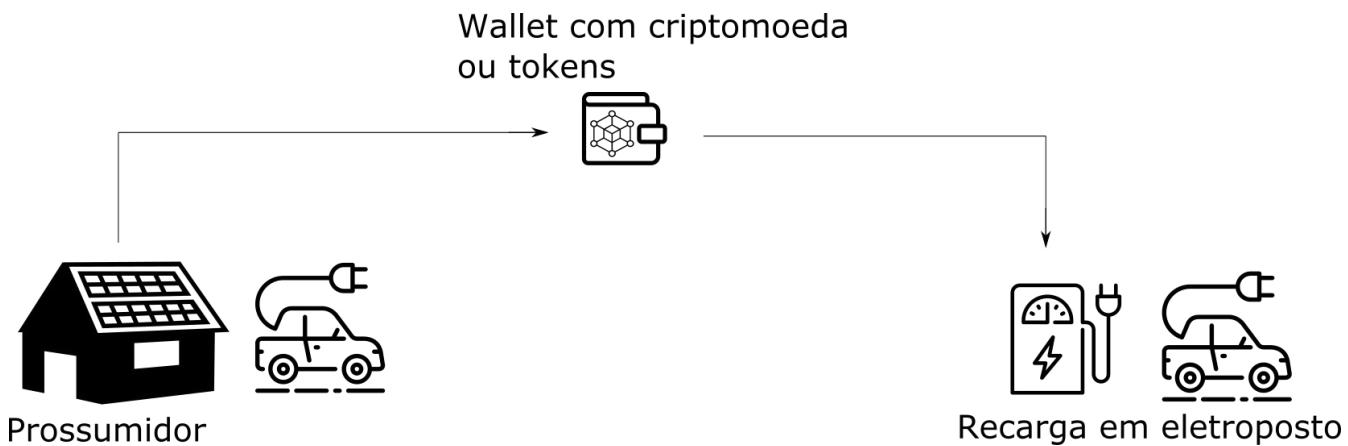
Dentro deste contexto, o consumidor pode ter sua instalação ou participação em um pequeno gerador, que possibilite a geração da energia necessária para a sua locomoção ou a aquisição por um baixo custo comparado ao preço do combustível fóssil. Não apenas esta relação direta, cooperativas rurais podem encontrar na produção de energia utilizando biocombustível ou biogás a forma barata de permitir, localmente a quem dela façá parte, a utilização de energia de baixo custo ou vender a energia produzida para empresas de logística, barateando o custo da comercialização de produtos rurais. O futuro se mostra flexível, exigindo ainda muita investigação e investimento em pesquisa e desenvolvimento.

A flexibilidade da eletrificação abre o espaço para novos modelos de negócio, viabilizando a comercialização ou uso de energia produzida no setor de transportes. Esta mudança exige o uso de diversas tecnologias, dada a descentralização da energia gerada, mas que deve ser utilizada em diferentes contextos e locais. A energia e a informação não são mais tratadas de forma separada no contexto da transição energética, a digitalização muda a relação e o mercado, assim como modifica o comportamento do consumidor final. Diante deste aumento da complexidade, diferentes tecnologias podem ser empregadas, neste trabalho a tecnologia blockchain é investigada como uma das habilitadoras de novos modelos de negócio no setor de energia elétrica e eletrificação veicular.

A tecnologia blockchain se apresenta atualmente como uma ferramenta para o desenvolvimento de novas soluções em diversos setores. Embora ela seja oriunda do segmento financeiro, dando suporte a criptomoedas e seus protocolos de transação, sua estrutura e utilidade se mostra um diferencial para outros segmentos. Os exemplos são variados, ocupando desde a tokenização de ativos reais até o registro de um determinado produto dentro de uma cadeia de suprimento, com ações desempenhadas automaticamente com uso de smart contracts e sistemas de IoT. Similarmente, o setor de energia pode absorver e criar novas soluções e modelos de negócios baseados em blockchain, agregando valor e garantindo a segurança das operações.

A primeira proposição que se mostra viável para a implantação de um sistema de recarga de veículo elétrico dentro da MMP associa a energia produzida por um prossumidor com uma criptomoeda ou uma determinada quantidade de tokens. Este modelo permite o registro e virtualização da produção do prossumidor, convertendo-a em um ativo que pode ser utilizado para diversas finalidades, como utilização para pagamento de seu consumo de energia local ou até mesmo, para pagamento de sua recarga. Desta maneira, o consumidor passa a contar com uma flexibilidade maior quando decide utilizar GD em sua residência, armazenando o valor equivalente em uma wallet, como mostrado na Figura 7. Isso possibilitaria utilizar os ativos armazenados como meio de pagamento em eletropostos conveniados ou que utilizem muitos sistemas, fornecendo a possibilidade do consumidor pagar pela recarga do seu carro, ou de alguém próximo, com sua própria produção de energia que fora contabilizada pela concessionária.

Figura 7 – Modelo que utiliza wallet para pagamento de recargas

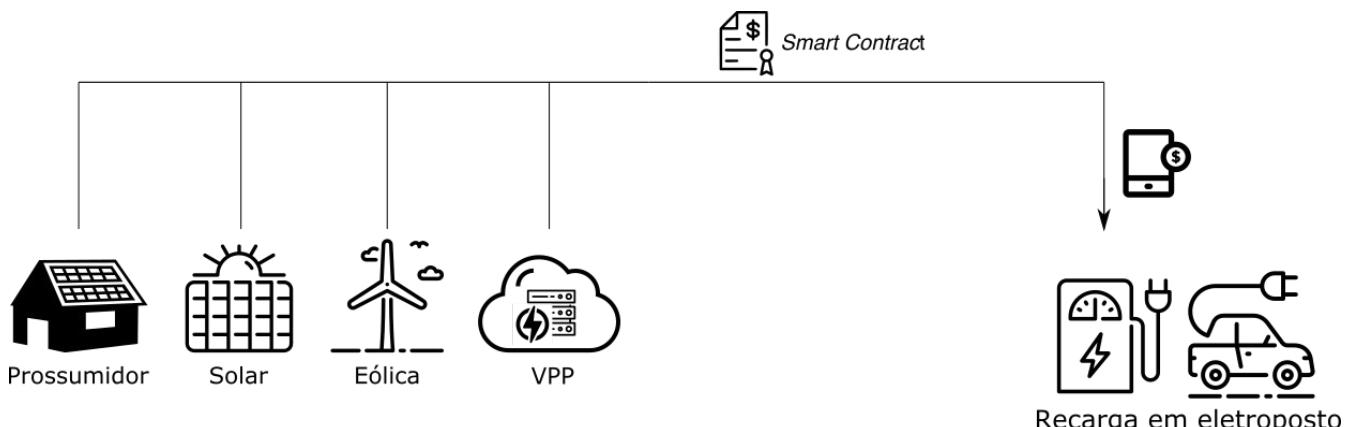


Este modelo apresenta viabilidade e espaço para aplicação, uma vez que existe um fluxo dentro da MMP, onde os consumidores moram em um determinado município, porém trabalham ou executam atividades em outros municípios dentro da MMP. A dinâmica da economia dentro desta região apresenta espaço para soluções desta natureza, aproveitando toda a sinergia entre produção local de energia e o tráfego dos consumidores entre municípios. Não apenas consumidores residências poderiam usufruir deste modelo, o setor de comércio e serviços pode também encontrar neste mecanismo a possibilidade de viabilizar uma frota de baixa emissão de CO₂. Empresas que utilizem autogeração ou produção de energia em suas instalações podem aderir a este modelo, possibilitando o planejamento da cadeia logística de grandes distâncias dentro da MMP. Desta maneira, além da recarga local de sua frota, nas dependências da empresa com carregadores particulares, os veículos poderiam trafegar entre municípios e utilizar o mesmo conceito para novas recargas, possibilitando sua autonomia distante da empresa e também seu retorno.

Esta conversão da energia em outro ativo, que pode ser utilizado a qualquer momento, permite uma flexibilização para seu acúmulo, o pagamento do combustível para seu veículo e em sazonalidades, onde o transporte é menos utilizado, o ativo pode ser usado para pagamento da energia local ou então, entrar como elemento financeiro em outros modelos de negócio.

Outro modelo que se mostra possível dentro da MMP, analisando as condições de infraestrutura local, mas que demanda a escolha de regiões que possuam uma infraestrutura de comunicação de qualidade para as fontes de geração, está na compra de energia diretamente com o gerador. Este cenário, apresentado na Figura 8, demonstra a possibilidade do consumidor comprar a energia para a recarga de seu veículo elétrico, direto do gerador, através da execução de Smart Contracts. Dentro deste modelo, os contratos de compra podem ser estabelecidos por Smart Contracts, registrando o valor da compra, a quantidade de energia a ser disponibilizada, assim como a cobrança de taxas, impostos e os repasses para a distribuidora.

Figura 8 – Modelo considerando Smart Contracts e compra de diferentes geradores



Fonte: Autor.

O consumidor pode realizar uma verificação da especificação naquele momento, entre os fornecedores, optando pelo que melhor o atenda e assim efetuando a compra. Por se tratar de um *Smart Contract*, ele pode ser executado e enviar informações para o consumidor e também para o eletroposto. Esta arquitetura permite que o consumidor tenha acesso ao seu saldo, caso tenha que interromper a recarga, enquanto o eletroposto pode fornecer a energia adquirida de forma integral ou também apenas entregar o saldo restante, de forma automática em um processo machine-to-machine (M2M).

Sob a perspectiva dos geradores, isso permite a venda de forma segura de energia e a concorrência dentro do mercado de recarga de veículos eletrificados. Os preços podem ser ajustados conforme a condição de despacho naquele momento, considerando a intermitências das fontes de energia, ou a compra de energia por uma *Virtual Power Plant* (VPP) que pode oferecer a energia por preços competitivos, mas atendendo a demanda com a combinação de seu portfólio. O mercado pode evoluir dentro deste segmento, permitindo que algumas plantas de geração comercializem energia só focada em veículos elétricos, utilizando sistemas com blockchain como ferramentas para comercialização.

4. Conclusões

A análise dos dados levantados dentro do contexto da MMP demonstra uma tendência crescente no uso de veículos elétricos e o crescimento da infraestrutura de recarga para esta categoria de veículos. Somando-se estas informações ao planejamento de logística da região, definido pelo Governo do Estado de São Paulo, verifica-se a possibilidade no aumento de adesão de veículos elétricos de forma estratégica. Entretanto, caminham lado a lado o incentivo para esta mudança de descarbonização do transporte e simultaneamente uma maior proliferação dos eletropostos. O aumento da infraestrutura de recarga se mostra um dos elementos necessários para a expansão dos veículos, quando analisada a segurança dos consumidores, ainda que os preços dos carros elétricos sigam em redução ao longo do tempo. Os veículos utilizados para a logística empresarial também demanda esse aumento de infraestrutura, principalmente ao longo das estradas que conectam os municípios da MMP e por onde trafegam cargas.

A utilização da tecnologia blockchain se mostra uma alternativa interessante para a flexibilização da recarga de carros elétricos, permitindo novos modelos de negócio e interações dentro do setor elétrico. Os consumidores podem, com aplicação da tecnologia, obter mais liberdade quanto o uso da sua energia gerada, virtualizando sua produção e utilizando ela mesmo distante de sua residência. Novos agentes podem nascer frente a estas mudanças a mecanismos, possibilitando um gama de cenários diferentes da atual e tradicional relação do consumidor com o posto de combustível para veículos a combustão. Contudo, avanços na área de telecomunicações, inclusive com a entrada do 5G no território nacional, assim como uma abertura e maior modernização do setor, são caminhos importantes para sistemas que demandem troca de informações e utilizem a tecnologia em sua infraestrutura de serviços.

Um resultado colateral desta pesquisa diz respeito a existência de bases de dados referentes a eletrificação veicular. Dentro do âmbito de planejamento, o trabalho demonstra ainda a necessidade de informações e base de dados mais representativas quanto a quantidade de veículos elétricos e eletropostos, de forma aberta e geolocalizada. Bases acessíveis neste segmento podem beneficiar empresas, governos e instituições de pesquisa, permitindo um melhor entendimento do segmento de eletrificação de transportes e um planejamento mais adequado, frente as mudanças. A própria ANEEL, assim como outras entidades, podem fornecer dados importantes utilizando o conceito de *Open Data*, abrindo caminho para estudos e ferramentais orientados a dados que contribuíam para o desenvolvimento e crescimento da eletrificação veicular.

Bibliografia

- BRILLANTOVA, Vlada; TURNER, Thomas Wolfgang. Blockchain and the future of energy. *Technology in Society*, 2019.
- BURANELLI DE OLIVEIRA, Marina e colab. Factors influencing the intention to use electric cars in Brazil. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 155, n. November 2021, p. 418–433, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.11.018>>.
- COLLAÇO, Flávia Mendes de Almeida e colab. Understanding the Energy System of the Paulista Macrometropolis: first step in local action toward climate change. *Ambiente & Sociedade*, v. 23, n. December, 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2020000101000&tlang=en>.
- CPFL ENERGIA. *Emotive - Mobilidade Elétrica CPFL*. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/documents/10184/15266087/Projetos+desenvolvidos+pelas+distribuidoras+-+Rafael+Lazzaretti.pdf/ae-7f47b5-9044-9c12-2ad8-f3dc77bec527>>. Acesso em: 10 jan 2022.
- DA SILVA, Ricardo Emilio; SOBRINHO, Pedro Magalhães; DE SOUZA, Teófilo Miguel. How can energy prices and subsidies accelerate the integration of electric vehicles in Brazil? An economic analysis. *Electricity Journal*, v. 31, n. 3, p. 16–22, 2018.
- DI SILVESTRE, Maria Luisa e colab. Blockchain for power systems: Current trends and future applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 119, n. January 2019, 2020.
- DOS SANTOS, João Tadeu Alves; BERMANN, Célio. Energia nas Cidades Inteligentes : o Blockchain integrado ao Smart Grid. 2020, [S.I.]: SBPE, 2020. p. 12.
- FU, Zhengtang; DONG, Peiwu; JU, Yanbing. An intelligent electric vehicle charging system for new energy companies based on consortium blockchain. *Journal of Cleaner Production*, v. 261, p. 121219, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121219>>.
- GALICI, Marco e colab. A cyber-physical platform for simulating energy transactions in local energy markets. *2019 IEEE Milan PowerTech, PowerTech 2019*, p. 2–7, 2019.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Plano de ação de transporte e logística para a macrometrópole paulista*. São Paulo: [s.n.], 2020.
- HENISZ, W; KOLLER, T; NUTTALL, R. Five ways that ESG creates value. *McKinsey Quarterly*, n. November, p. 1–12, 2019. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/business-functions/strategy-and-corporate-finance/our-insights/five-ways-that-esg-creates-value>>.
- IBGE. *Cidades@*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 23 abr 2021.
- IEA, International Energy Agency. Global EV Outlook 2018. v. 2012, n. 2, p. 17, 2018.
- IGC-SP. *Coleção Emplasa*. Disponível em: <<http://www.igc.sp.gov.br/produtos/emplasa.html>>. Acesso em: 9 set 2020.
- IRENA. *Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050*. [S.I.: s.n.], 2020a.
- IRENA. *Global Renewables Outlook: Energy transformation 2050*. [S.I.: s.n.], 2020b.
- KIM, Young Myoung e colab. Intelligent micro energy grid in 5G era: Platforms, business cases, testbeds, and next generation applications. *Electronics (Switzerland)*, v. 8, n. 4, 2019.
- MACHADO, S e colab. Tecnologia blockchain no setor elétrico: Impactos e aplicações. 2020, [S.I.]: SBPE, 2020. p. 12. Disponível em: <<https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/19697>>.
- MARCHI, B. e colab. The disruptive potential of blockchain technologies in the energy sector. *Eceee Summer Study Proceedings*, v. 2019-June, n. June, p. 899–906, 2019.
- MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. *Estatísticas - Frota de Veículos - DENATRAN*. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/estatisticas-frota-de-veiculos-denatran>>. Acesso em: 20 jan 2021.
- MOUGAYAR, William. *The Business Blockchain: Promise, Practice, and Application of the Next Internet Technology*. [S.I.]: Wiley, 2016.

- ONU. 17 Objetivos para Transformar o Nossa Mundo. *Guia sobre Desenvolvimento Sustentável*, 2016.
- PATEL, Dhiren e colab. Carbon Credits on Blockchain. *2020 International Conference on Innovative Trends in Information Technology*, ICITIIT 2020, 2020.
- PLUGSHARE. *PlugShare Website*. Disponível em: <<https://www.plugshare.com>>. Acesso em: 23 jan 2022.
- SOARES, Raiana Schirmer. *A difusão da geração distribuída fotovoltaica na macrometrópole paulista*. 2020. 155 f. Universidade de São Paulo, 2020.
- SWAN, Melanie. *Blockchain: Blueprint for a new economy*. [S.l: s.n.], 2015.
- TAPSCOTT, Don; TAPSCOTT, Alex. *Blockchain Revolution*. [S.l: s.n.], 2016.
- TELECO. *Teleco - Inteligência em Telecomunicações*. Disponível em: <<https://www.teleco.com.br>>. Acesso em: 10 dez 2020.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. *Renewables 2020 Global Status Report. 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*. [S.l: s.n.], 2020.

Mercados de Energia Competitivos em um Ambiente de Transição Energética

Competitive energy markets in an energy transition environment

Jovanio Silva Dos Santos Júnior¹

Sumário: 1. Desenhos de Mercados de Energia. 2. A Expansão das Renováveis. 3. O Setor Elétrico do Futuro. 4. Manutenção da Competitividade dos Mercados de Energia: O Contexto da Transição Energética. 5. O Novo Papel da Distribuidora no Brasil. 6. Considerações Finais. Bibliografia.

Resumo: Políticas ESG (Environmental, Social and Corporate Governance) têm ganhado cada vez mais espaço nas ações estratégicas, tanto de empresas quanto de países. Reduzir as emissões de gases de efeito estufa e atingir as metas do Acordo de Paris estão no centro dessa temática em todos os setores da economia, e, certamente, o setor de energia não poderia ficar de fora. Os mercados de energia possuem várias arquiteturas entre os países, diferenciando-se em vários aspectos, desde a formação de preços até a liberdade dada ao consumidor final para escolha de seu supridor (ou gerador de energia). Preparar o mercado para continuar competitivo em meio ao contexto da descarbonização é vital para que o setor possa contribuir de forma decisiva nessa esfera. Para que seja possível essa transição, é necessário analisar quatro aspectos: i) investimentos em infra low carbon; ii) eficiência operacional, segurança e adequabilidade energéticas; iii) eficiência do grid e; iv) consumo de energia. Este artigo tem como objetivo explorar esses aspectos e propor ações práticas para o aperfeiçoamento dos novos mercados de energia em um contexto global.

Palavras-chave: mercados de energia; estruturas de mercado; decarbonização; segurança energética.

Abstract: ESG (Environmental, Social and Corporate Governance) policies have been gaining more and more space in strategic actions, both by companies and countries. Reducing greenhouse gas emissions and achieving the Paris Agreement targets are at the heart of this theme in all sectors of the economy, and certainly the energy sector could not be left out. Energy markets have different architectures between countries, differing in several aspects, from price formation to the freedom given to the final consumer to choose their supplier (or energy generator). Preparing the market to remain competitive in the context of decarbonization is vital for the sector to make a decisive contribution in this sphere. In order to make this transition possible, it is necessary to analyze four aspects: i) investments in low carbon infrastructure; ii) operational efficiency, energy safety and suitability; iii) grid efficiency and; iv) energy consumption. This article aims to explore these aspects and propose practical actions to improve new energy markets in a global context.

Keywords: energy market; market structures; decarbonization; energetic security.

¹ Pós-Graduado em Gerenciamento de Projetos e Eficiência Energética. Possui MBA executivo em Setor Elétrico Brasileiro e LLM em Direito de Energia. Thymos Energia. E-mail: jovaniojunior@hotmail.com.

1. Desenhos de Mercados de Energia

A evolução mercadológica do setor de energia, ao longo dos anos, dá-se de forma uniforme no contexto mundial.

A energia elétrica, como serviço de utilidade pública, traz no seu bojo a necessidade de universalização do acesso à rede, pelos consumidores, de cada país. Além disso, o setor elétrico é um segmento de capital intensivo, ou seja, que requer investimentos de grande porte para que a seja possível a universalização do acesso a energia elétrica.

Com esse pano de fundo, dá-se a evolução do desenho dos mercados de energia. Ao estudar os desenhos de mercado mundiais, pode-se identificar quatro modelos,

conhecidos como canônicos, de mercados de energia. O primeiro modelo, possui uma participação central do Estado, o qual age de forma a concentrar os investimentos e determinar as políticas de expansão, centralizando os segmentos de Geração, Transmissão e Distribuição de energia. Esse modelo é conhecido como Monopólio Verticalmente Integral.

Esse modelo foi mundialmente utilizado por quase um século, sendo que todas as funções são realizadas de forma integrada e por uma única empresa. Possui a característica de não ter competição na Geração e na Comercialização de energia, sendo que o monopólio normalmente é de uma empresa estatal, e, no caso de ser privado, existe uma forte regulação nos preços, investimentos e qualidade dos serviços.

Naturalmente, com o evoluir do mercado de energia, mais investimentos são necessários, e a capacidade Estatal de realizá-los é exaurida, e, a partir desse momento, passa-se a ter uma maior dinâmica com o mercado de capitais. O modelo de Single Buyer é o primeiro passo em relação à competição no mercado de energia, sendo criado no Estados Unidos por meio da Lei Public Utility Regulatory Act (PURPA).

Neste modelo, há competição no segmento de geração, com a figura do Produtor Independente de Energia (PIE), os quais competem na venda para as Distribuidoras, com preços regulados.

A contratação de energia é via leilões centralizados, com repasse aos consumidores por meio de tarifas reguladas.

A evolução natural do modelo Single Buyer é o de Competição no Atacado. Neste modelo há a criação de um Mercado Atacadista, no qual os PIEs e grandes consumidores negociam bilateralmente o fornecimento de energia, ou seja, há competição nos segmentos de Geração e de Comercialização. Para os consumidores varejistas, ainda há o mecanismo centralizado de fornecimento de energia por meio do segmento de Distribuição, com uma tarifa regulada e uma banda de variação relacionada ao spot market price.

Já em mercados de energia mais robustos, há o Modelo de Competição Varejista. Nesse modelo, todos os consumidores, grandes e de menor porte, escolhem seus fornecedores de energia, embora consumidores residenciais tendem a procurar Agregadores ou Varejistas. Este modelo é conhecido nos Estados Unidos como *retail access* ou *customer choice*, diminuindo a capacidade do Estado de regulação, em especial dos preços, dado que eles são definidos bilateralmente entre as negociações dos agentes.

Para que possa ser sustentável, esse Modelo precisa de muitos participantes, e, em alguns casos, a regulação pode obrigar a venda de parte dos ativos das empresas para mitigar o poder de mercado.

A Figura 1 apresenta os quatro Modelos comentados anteriormente, com seus respectivos fluxos de energia, e participações entre players.

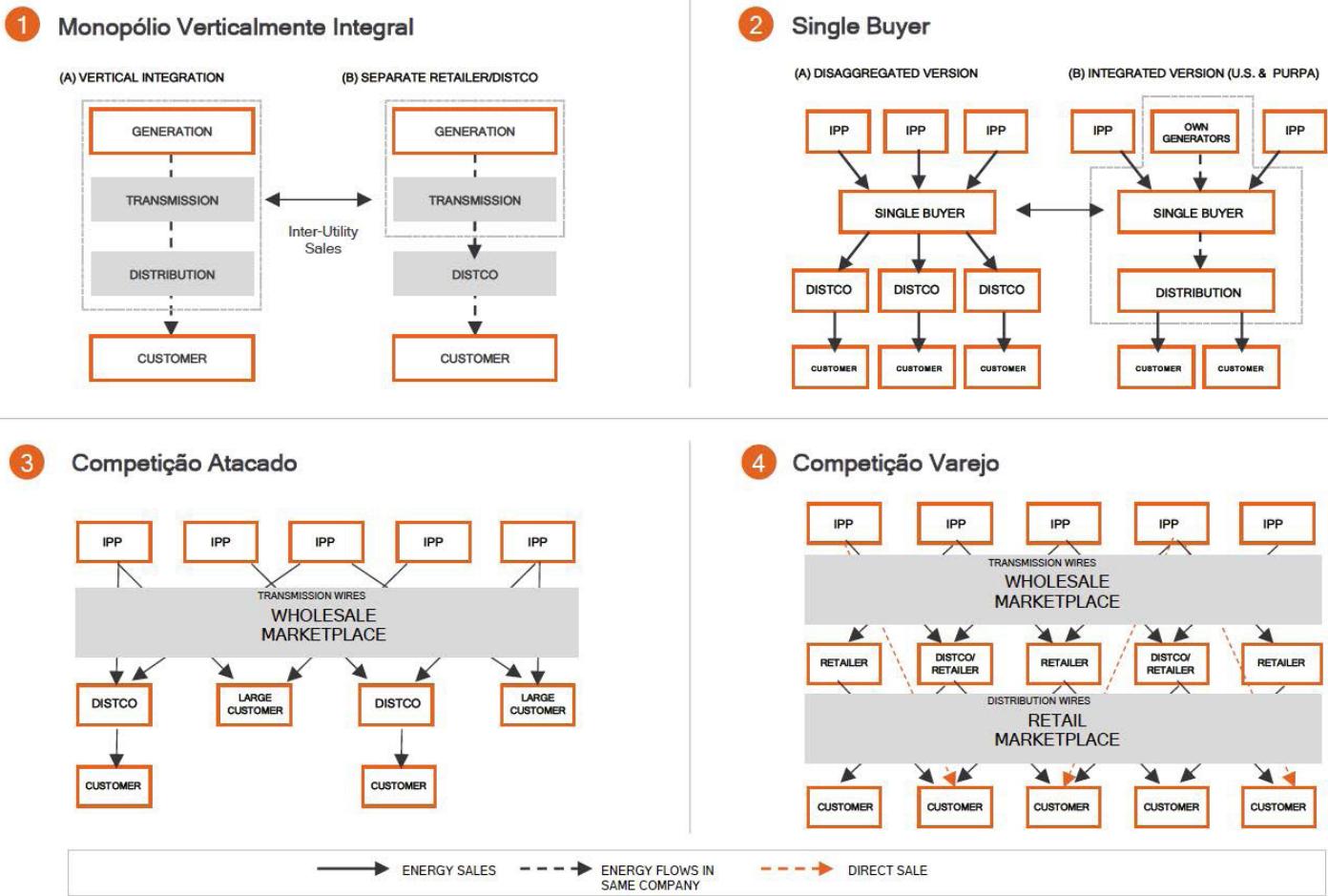


Figura 1 - Modelos canônicos. (Fonte: Viana, 2018).

Em uma visão global, o estudo dos modelos de mercado de energia desdobra-se em 5 modelos na prática, conforme apresentado na Figura 2.

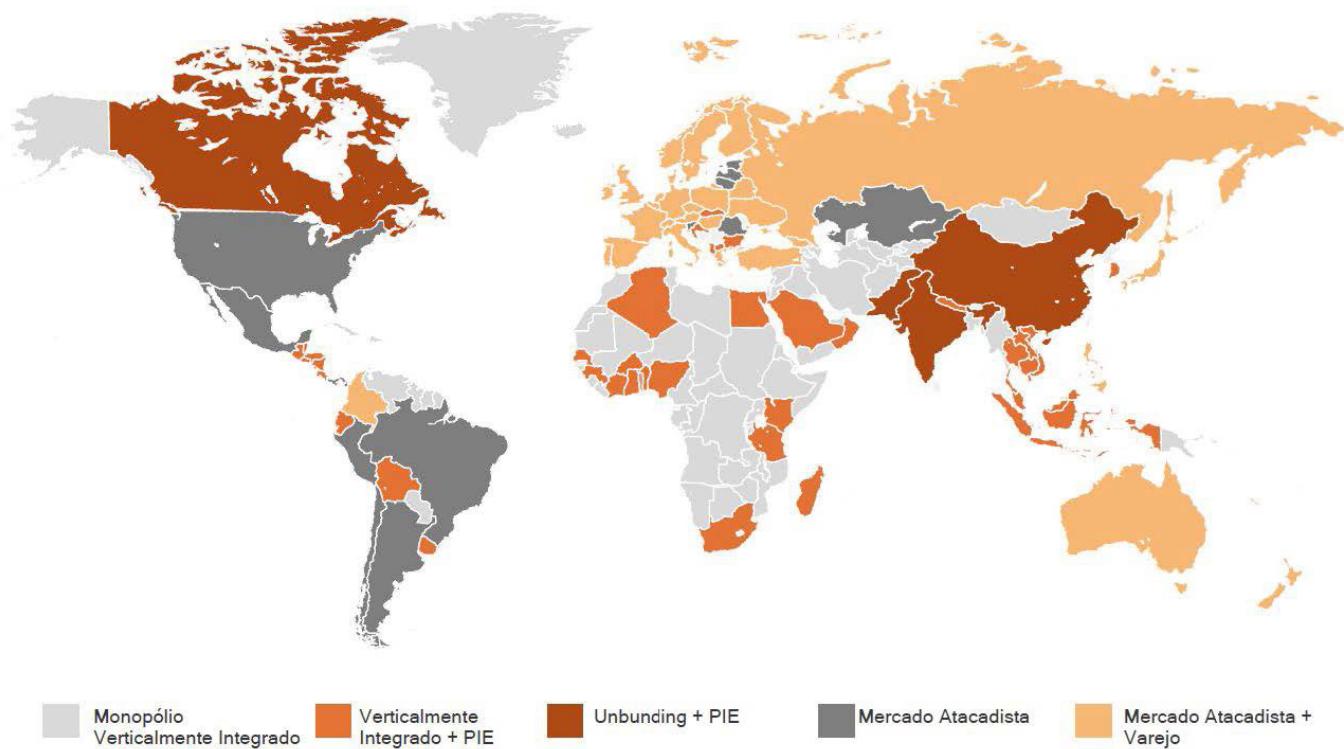


Figura 2 - Modelos de mercado de energia mundiais (Fonte: Viana, 2018).

2. A Expansão das Renováveis

A inserção de energias renováveis, nominalmente solar e eólica, na matriz elétrica mundial já é um movimento consolidado.

Até o momento, a evolução dessas tecnologias tem sido significativa, marcada, basicamente, por três aspectos: evolução tecnológica, redução de custos de implantação (CAPEX) e de operação

(OPEX), sendo que esses aspectos todos culminam para uma redução do custo nívelado de energia (LCOE, na sigla em inglês).

De acordo com a Agência Internacional de Energia Elétrica (IEA, na sigla em inglês), 2020, apesar da situação conjuntural pandêmica, mostrou-se um ano bastante significativo para essas fontes, com uma adição de capacidade de 45%, o que representa cerca de 280 GW, o maior crescimento até o momento no comparativo anual com 2019, conforme mostrado no Gráfico 1.

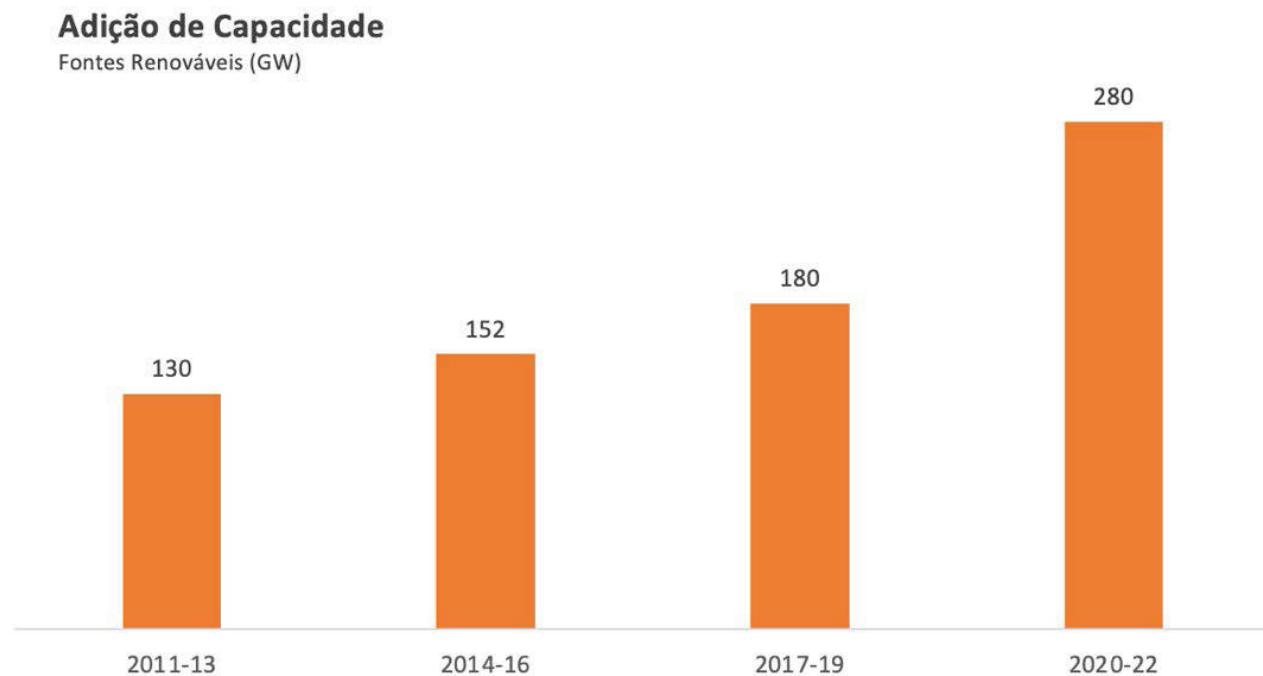


Gráfico 1 - Adição de capacidade energias renováveis (Fonte: IEA, 2021)

A evolução do LCOE para essas fontes também foi significativa. Ao longo da década 2010-2020, a fonte solar apresentou uma redução em torno de 85%, enquanto a fonte eólica apresentou uma redução de cerca de 52%, conforme apresentado no Gráfico 2.

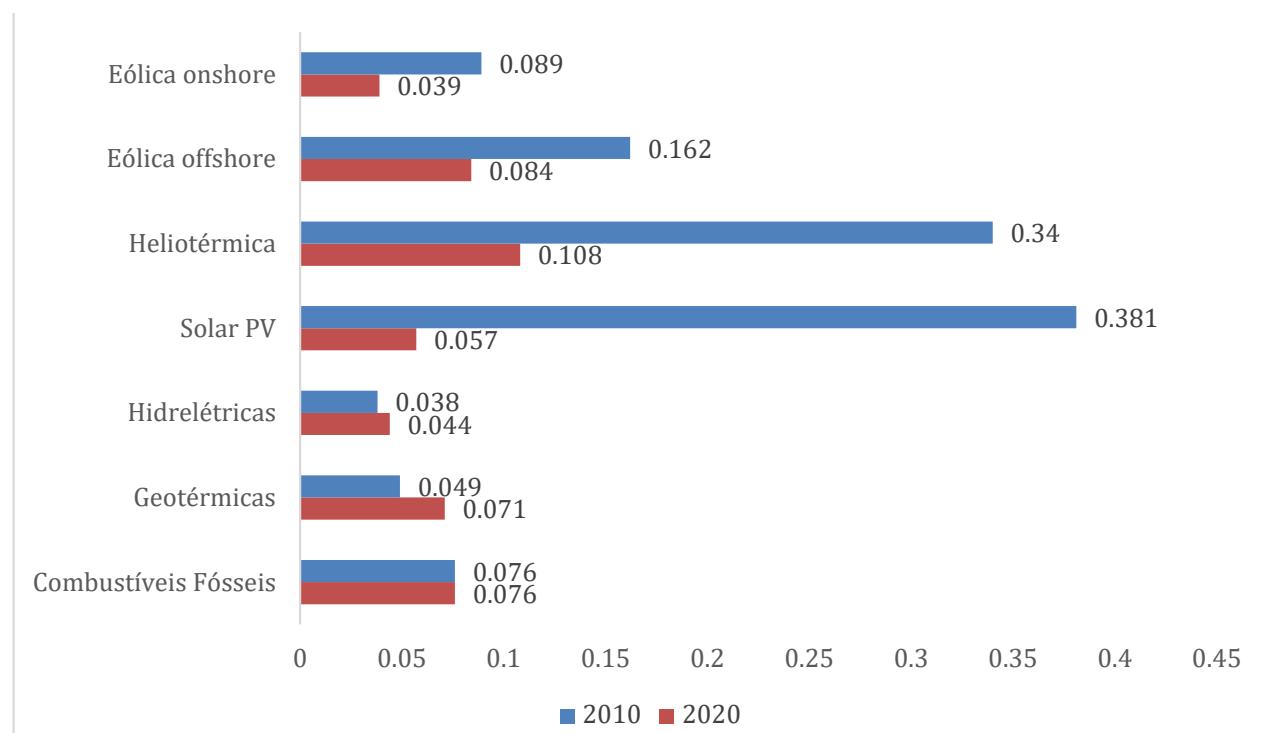


Gráfico 2 - Evolução do LCOE das fontes renováveis (IRENA, 2021)

3. O Setor Elétrico do Futuro

O contínuo avanço das renováveis, aliadas a novas tecnologias, como armazenamento, hidrogênio e captura de carbono (CCUS, na sigla em inglês), pavimentam o caminho para o futuro do setor elétrico.

Neste futuro, a presença de três aspectos será determinante para a sua evolução, quais sejam: eletrificação, descentralização e digitalização.

A eletrificação passa pela utilização cada vez mais frequente de energia nos setores da economia. Veículos elétricos, carregamento inteligente e integração entre veículo-rede-casa serão tendência dentro desse aspecto. O setor de transporte terá uma participação fundamental, passando pelos meios de transporte da população nas cidades (ônibus) até aparelhos menores (patinetes, por exemplo).

No aspecto de descentralização, cada vez mais a participação (e preocupação) do consumidor será decisiva. Novos produtos e serviços serão orientados para o atendimento desses anseios (por exemplo: geração por meio de fontes limpas, à medida que o consumidor toma consciência de sua importância para o atingimento das metas do Acordo de Paris). Além disso, há também a possibilidade de gerar sua própria energia, com a disseminação dos Recursos Energéticos Distribuídos (RED's) que podem incluir, também, sistemas de armazenamento e a comunicação peer-to-peer (venda de excedente de energia para o vizinho, por exemplo).

Diante desse movimento, o fluxo na rede elétrica passa de unidirecional (sendo atendido pela geração centralizada) para multidirecional (sendo atendido também pela geração descentralizada), como apresentado na Figura 3.

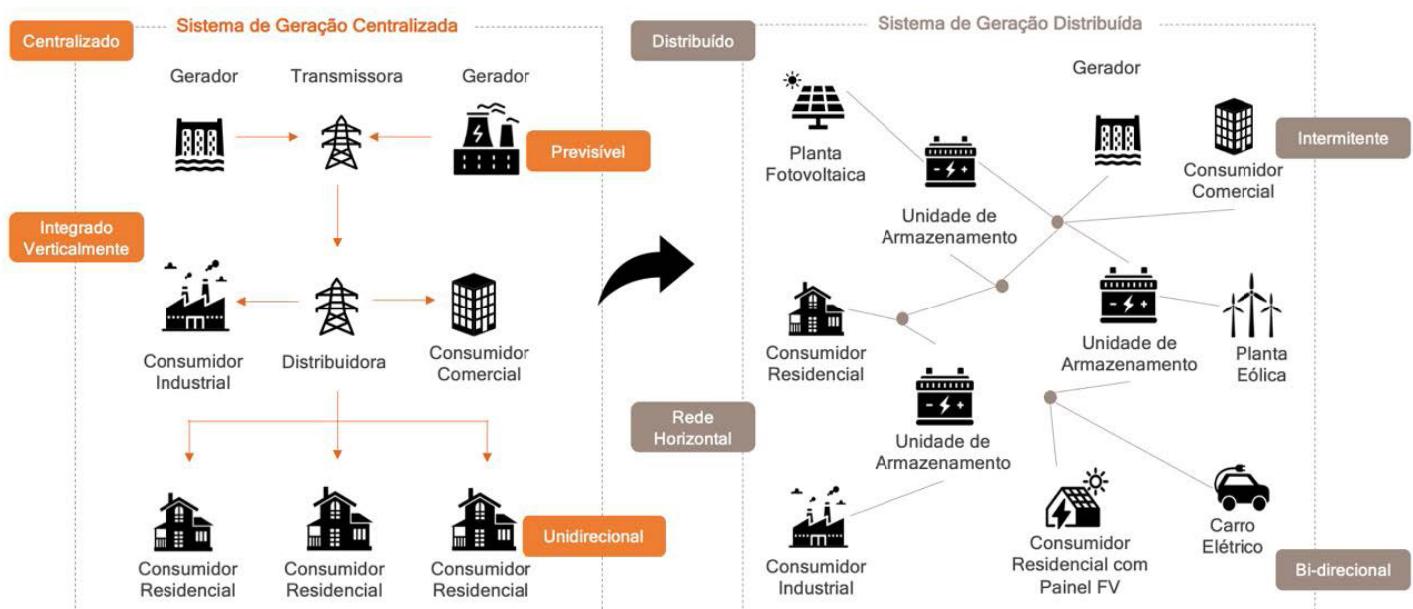


Figura 3 - Sistema elétrico do futuro (Fonte: Elaboração do Autor).

4. Manutenção da Competitividade dos Mercados de Energia: O Contexto da Transição Energética

A inserção das fontes renováveis, as novas tecnologias, principalmente a do uso de hidrogênio e as de captura e utilização de carbono, o uso de sistemas de armazenamento e a disseminação dos REDs tem como pano de fundo uma crescente preocupação com as mudanças climáticas, tanto por parte de empresas como por parte do próprio consumidor, ao passo que toma cada vez mais consciência da importância de sua participação nesse contexto.

Diante desse cenário, os mercados de energia precisam adaptar-se à nova realidade para manterem-se competitivos e sustentáveis e, para isso, quatro aspectos são importantes, como mostrado na Tabela 1.

Aspecto	Política	Tipo de Regulação	Mercados Competitivos
Investimentos em tecnologias de baixa emissão de carbono	Precificação de carbono	▪ Regulação do carbono	▪ Precificação do carbono ▪ Contratos de longo prazo
	Políticas adicionais incentivadoras	▪ Apoio de longo prazo a tecnologias de baixa emissão	▪ Apoio a mecanismos de leilões ▪ Integração entre mercados
Eficiência operacional/ Segurança e adequabilidade	Mercados de energia de curto prazo	▪ Regras de mercado ▪ Precificação do racionamento ▪ Padrões de confiabilidade	▪ Preços da energia com alta resolução locacional ▪ Preços da energia com alta resolução temporal ▪ Oferta de preços dinâmica
	Mercados de capacidade	▪ Requisitos de capacidade ▪ Definição de produtos de resposta à demanda	▪ Preços por capacidade ▪ Participação da resposta à demanda
Eficiência de rede	Regulação	▪ Planejamento regional ▪ Alocação de custos da rede	▪ Receitas por congestionamento ▪ Leilões de transmissão
Consumo	Precificação no varejo	▪ Estrutura tarifária ▪ Tributação e taxas	▪ Preços varejistas competitivos ▪ Recursos distribuídos

Tabela 1 - Aspectos importantes para a manutenção da competitividade dos mercados de energia frente ao contexto de transição energética (Fonte: IEA, 2016)

5. O Novo Papel da Distribuidora no Brasil

A evolução do mercado brasileiro de energia tem acontecido de forma premente nas últimas décadas.

O modelo verticalizado, com a criação da Eletrobrás na década de 1960 e a estatização das distribuidoras, deu lugar ao modelo de competição varejista, o que permitiu a criação e desenvolvimento do mercado livre de energia (ACL).

Além disso, a sistemática de leilões centralizados de energia contribuiu de forma significativa para a expansão da matriz elétrica e do sistema de transmissão, principalmente a partir de 2001, quando houve o racionamento de energia.

Contudo, o caminho para o modelo de mercado de competição varejista requer um contínuo avanço.

As discussões sobre a modernização setorial brasileira datam desde 2016, com vários aperfeiçoamentos indicados e identificados pelos agentes setoriais.

Além de outros aspectos, o papel do segmento de Distribuição de energia nesse contexto é vital para que o desenho atual de mercado evolua.

Com as tendências mencionadas nos tópicos anteriores desse artigo, é importante que, a distribuidora evolua do atual modelo (operadora de rede) para o modelo do futuro (operadora de serviços), que é conhecido como DSO (Distribution Service Operator).

Para que essa transição seja consistente no Brasil, onze aspectos são importantes de endereçamento, quais sejam:

- Agilizar pautas de abertura de mercado;
- Endereçar a questão dos contratos legados;
- Separação de atividades das atividades de distribuição e comercialização
- Medição
- Discutir e implementar a figura do Agregador de Carga
- Analisar as tarifas binômias
- Revisar a regulamentação de geração distribuída
- Regular a prestação de serviços dos REDs à rede elétrica local
- Regular a prestação de serviços dos REDs ao sistema elétrico
- Estruturar a participação do DSO no mercado atacadista
- Comunicação peer to peer

6. Considerações Finais

A evolução dos modelos de mercado de energia é um movimento bastante benéfico estrutural e competitivamente, visto que permite a entrada de players no setor e, com isso, a viabilização de novos investimentos em infra-estrutura, para atender a crescente demanda desses mercados.

A preocupação mundial com as mudanças climáticas e a inserção das fontes renováveis já são uma realidade, com a participação cada vez maior na pauta de governos e do setor privado.

O mercado de capitais possui um papel decisivo e imprescindível dentro desse contexto, sendo o enabler para esses novos investimentos, com as características de ESG.

Também, é fundamental repensar e redesenhar os mercados de energia para que, dentro dessa nova realidade, mantenham-se competitivos, principalmente para o consumidor final

No Brasil, a discussão sobre o aprimoramento do modelo de mercado vem desde 2016, e passou por vários aperfeiçoamentos ao longo do tempo, sendo que a abertura de mercado, visando o segmento varejista, é a temática central dessa discussão.

Contudo, dentre vários aspectos é importante que o papel do segmento de Distribuição seja revisto, passando a oferecer produtos e serviços para o atendimento às necessidades dos consumidores de energia, que terão um papel decisivo nesse modelo.

Bibliografia

IEA – International Energy Agency. Renewable Energy Market Update: Outlook for 2021 and 2022. Paris, 2021.

IEA – International Energy Agency. Re-powering Markets: Market design and regulation during the transition to low-carbon power systems. Electricity Market Series. Paris, 2016.

IRENA – International Renewable Energy Agency. Renewable Power Generation Costs in 2020. Abu Dhabi, 2021.

VIANA, Alexandre Guedes. Leilões como mecanismo alocativo para um novo desenho de mercado no Brasil. São Paulo, 2018.

Avaliação do potencial da macaúba como matéria-prima para a produção de biodiesel*Evaluation of macaúba potential as a raw material for biodiesel production*Joyce Emanuelle P. Barbosa¹Amanda Santana Peiter²Vitória Ricardo Da Rocha³Marcela Nunes De Souza⁴**Sumário:** 1. Introdução. 2. Metodologia. 3. Resultados e Discussões. 4. Conclusão. Bibliografia.

Resumo: O biodiesel destaca-se como alternativa energética aos combustíveis derivados do petróleo devido a tratar-se de um combustível renovável e biodegradável. A produção do biodiesel consiste em uma reação química dos triglicerídeos presentes nos óleos com um álcool primário estimulado por um catalisador e esse processo é denominado como reação de transesterificação. A transesterificação pode ocasionar resultados diferentes através das escolhas das variáveis do processo, tendo como exemplo, a temperatura, o tipo de álcool, agitação da mistura, proporções necessárias de álcool, tipo de catalisador, quantidade de catalisador e pelo tempo de duração da reação. Uma das oleaginosas promissoras para a produção do biodiesel é a macaúba. A oleaginosa mencionada apresenta dispersão no país devido a sua fácil adaptação ao clima e solo, além disso, possui um alto teor de óleo por hectare e um rendimento econômico causado pelo aproveitamento dos coprodutos. O óleo do fruto da macaúba deste trabalho foi o óleo extraído do mesocarpo que tem composição química com predominância dos ácidos graxos palmítico, oleico e linoleico. Neste trabalho foi executado um planejamento das condições experimentais para o processo, além das análises físico-químicas do óleo da polpa de macaúba e do biodiesel de macaúba, buscando obter um maior rendimento em biodiesel com menor custo.

Palavras-chave: Biodiesel; Macaúba; Planejamento Experimental.

Abstract: Biodiesel stands out as an energy alternative to petroleum-derived fuels because it is a renewable and biodegradable fuel. The production of biodiesel consists of a chemical reaction of triglycerides present in oils with a primary alcohol stimulated by a catalyst and this process is called transesterification reaction. Transesterification can lead to different results through the choices of process variables, such as temperature, type of alcohol, mixture agitation, necessary proportions of alcohol, type of catalyst, amount of catalyst and the duration of the reaction. One of the promising oilseeds for the production of biodiesel is macaúba. The mentioned oilseed presents dispersion in the country due to its easy adaptation to the climate and soil, in addition, it has a high oil content per hectare and an economic yield caused by the use of by-products. The macaúba fruit oil in this work was the oil extracted from the mesocarp, which has a chemical composition with predominance of palmitic, oleic and linoleic fatty acids. In this work, a planning of the experimental conditions for the process was carried out, in addition to the physical-chemical analysis of macaúba pulp oil and macaúba biodiesel, seeking to obtain a higher yield of biodiesel at a lower cost.

¹ Graduanda em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Alagoas, joyce.barbosa@ceca.ufal.br.² Doutora em Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, amanda.peiter@ceca.ufal.br.³ Graduanda em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Alagoas, vitoria.rocha@ceca.ufal.br.⁴ Graduanda em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Alagoas, marcela.souza@ceca.ufal.br.

Keywords: Biodiesel; Macaúba; Experimental planning.

1. INTRODUÇÃO

A busca por combustíveis alternativos vem ganhando destaque durante os últimos anos. Além da motivação da independência dos combustíveis fosseis e seus derivados, surge como incentivo na substituição os aspectos nas áreas ambientais, sociais e econômicas. O biodiesel destaca-se como alternativa energética devido a tratar-se de um combustível renovável e biodegradável. A produção do biodiesel consiste em uma reação química dos triglicerídeos presentes nos óleos com um álcool primário estimulado por um catalisador, esse processo é denominado como reação de transesterificação. A transesterificação pode ocasionar resultados diferentes através das escolhas das variáveis do processo, tendo como exemplo, a temperatura, o tipo de álcool, agitação da mistura, proporções necessárias de álcool, tipo de catalisador, quantidade de catalisador e pelo tempo de duração da reação (PEITER, 2017; CHING e RODRIGUES, 2013).

A Resolução nº 798/2019 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), que altera a de nº 45 de 25/08/2014, trata da especificação do biodiesel comercializado no Brasil. Para a comercialização do biodiesel, a resolução estabelece que o rendimento mínimo deve ser 96,5% de ésteres.

De acordo com Ching e Rodrigues (2013), a substituição do combustível gera retorno imediato no aspecto ambiental, visto que para o uso de 1kg de biodiesel há uma redução de 3kg de CO₂. No ponto de vista social e econômico, ocorre um aumento na renda e valorização dos agricultores familiares e dos produtores de porte médio e grande. Os impactos na geração de renda percorrem também nos setores indiretos do processo desse biocombustível, sendo eles, os fornecedores de bens e serviços no âmbito agroindustrial. Outro aspecto relevante é a diversificação da matéria-prima no país, possibilitando a produção de biodiesel de diferentes oleaginosas em condições distintas. Uma das oleaginosas promissoras para a produção do biodiesel é a macaúba. Macaúba é o nome brasileiro mais usado para denominar as palmeiras do gênero *Acrocomia*, família *Palmae*. A oleaginosa mencionada apresenta dispersão no país devido a sua fácil adaptação ao clima e solo, além disso, possui um alto teor de óleo por hectare. O fruto da macaúba é composto por epicarpo duro de coloração marrom amarelada (casca externa), mesocarpo amarelo (polpa), endocarpo duro, escuro e fortemente aderido à polpa, contendo uma ou duas amêndoas oleaginosas. Casca, polpa e amêndoas possuem potenciais para utilização industrial, como a extração de óleo. Por ser totalmente aproveitada, a macaúba é uma oleaginosa de grande potencial econômico. O principal produto da macaúba é o óleo obtido da polpa e da amêndoas, que pode ser utilizado na indústria alimentícia, óleo química e de biocombustíveis (REZENDE, 2015; WANDEK e JUSTOS, 1988; SILVEIRA, 2014).

Neste trabalho foi feito o estudo da produção de biodiesel a partir de óleo da polpa da macaúba. As variáveis de processo foram: catalisador, álcool e temperatura, com o objetivo de obter um alto rendimento de óleo em biodiesel com um menor custo.

2. METODOLOGIA

As amostras da oleaginosa Macaúba utilizada nesse experimento tiveram origem da plantação do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) do município de Rio Largo, Alagoas. Após a colheita, as amostras foram direcionadas ao Laboratório de Sistema de Separação e Otimização de Processos (LASSOP), localizado no Centro de Tecnologia do Campus A. C. Simões com a finalidade de executar o pré-tratamento de cada amostra e posteriormente extrair o óleo do mesocarpo do fruto de forma mecânica. O óleo de macaúba foi escolhido por ser uma palmeira nativa do Brasil, com grande potencial na produção de óleo vegetal. A produção de biodiesel a partir da macaúba tem boas

perspectivas, não só devido à alta produção de óleo por hectare, mas também pelas propriedades físico-químicas que resultam em um biodiesel de alta qualidade.

Foram determinados os seguintes parâmetros para o óleo e o biodiesel de macaúba através de análises físico-químicas: viscosidade; densidade e índice de acidez.

Para análise da viscosidade foi ligado o banho termostatizado, controlando a temperatura em 40 °C. Quando a temperatura estabilizou em 40 °C, o viscosímetro de Ostwald de 200 foi imergido no banho. Foram medidos cerca de 8 mL da amostra para colocar na maior entrada do viscosímetro. Em seguida, o pipetador foi acoplado na menor entrada do viscosímetro e a amostra foi puxada até passar do menisco superior. Retirou-se o pipetador para a amostra escoar. Quando a amostra passou pelo menisco superior o tempo começou a ser marcado com o cronômetro até que a amostra passasse do menisco inferior. A viscosidade da amostra foi calculada pela Equação 1:

$$\nu = t \times K \quad (1)$$

Onde:

ν é a viscosidade em cst;

t é a média dos tempos em segundos;

K é a constante do viscosímetro (para o viscosímetro de 200: $K = 0,1125 \text{ mm}^2/\text{s}^2$).

Para análise da densidade foi colocado um pouco da amostra no béquer e em seguida colocou-se o béquer no banho de água com gelo para atingir a temperatura de 20 °C. O densímetro foi colocado em contato com a amostra e o valor da densidade apareceu no visor do densímetro.

Para o índice de acidez foram pesadas 2 g da amostra no erlenmeyer. Foram medidos 25 mL de solução de éter etílico – etanol (2:1) neutra para adicionar no erlenmeyer. Duas gotas do indicador fenoltaleína foram adicionadas. A solução de hidróxido de sódio 0,01 M (padronizada) foi colocada na bureta e titulou-se até o aparecimento da coloração rósea.

O índice de acidez foi calculado através da Equação 2:

$$I.A. = \frac{V \times f \times M \times 28,2}{m} \quad (2)$$

Onde:

$I.A.$ é o índice de acidez em %;

V é o volume da solução de hidróxido de sódio, em mL, gasto na titulação;

f é o fator da solução do hidróxido de sódio;

M é a molaridade do hidróxido de sódio;

m é a massa da amostra, em g.

Com o óleo devidamente extraído foi possível desenvolver um planejamento experimental de variáveis que interferem no processo e consequentemente no rendimento. O planejamento de experimentos tem como objetivo extraer do sistema em estudo, o máximo de informação útil, realizando o mínimo de experimentos possíveis e assim determinar a interação entre variáveis de forma racional e econômica.

Para determinação das condições experimentais que maximizassem a síntese do biodiesel resultante da reação e para avaliar a influência das variáveis escolhidas, foi realizado um planejamento experimental factorial completo com 2 níveis e 3 variáveis.

Os valores dos parâmetros fixos foram escolhidos com base em trabalhos da literatura, para que pudesse ser otimizado o processo, sem deixar de atender às exigências da ANP para produção e comercialização do biodiesel, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros Fixos adotados no processo

Parâmetros Fixos	
Óleo do fruto:	Mesocarpo da Macaúba
Razão molar óleo:álcool:	1:6
Quantidade de catalisador:	1,5% da massa do óleo
Tempo de reação:	3h

Fonte: Autoras,2021.

As variáveis estudadas foram: tipo de álcool, tipo de catalisador e temperatura. Foram escolhidos como álcool o etanol, por ser um álcool de fonte renovável, produzido no Brasil e o metanol, por ser o mais utilizado nas usinas produtoras de biodiesel do Brasil e do mundo, para fins de comparação.

O óleo da polpa da macaúba apresenta características que possibilitam a produção de biodiesel, possui grande quantidade de ácidos graxos livres, dificultando o processo tradicional de produção do biodiesel com catalisador básico. O catalisador mais indicado para matérias primas com essas características são catalisadores ácidos. Foram utilizados dois tipos de catalisadores homogêneos ácidos, H₂SO₄ e HCl, para verificar se estes influenciariam no rendimento da reação.

Foi analisada a temperatura ambiente, que implicaria em menor custo de processo e uma temperatura mais elevada, 60°C, para verificar se a mudança de temperatura seria necessária para obter o rendimento mínimo de 96,5%.

Os limites associados a cada variável estão representados na Tabela 2. O limite inferior é representado por (-) e o limite superior por (+).

Tabela 2 – Identificação das variáveis do planejamento experimental 2³

Variáveis	(-)	(+)
1:Álcool	Metanol	Etanol
2:Catalisador	H ₂ SO ₄	HCl
3:Temperatura (°C)	28	60

Fonte: Autora ,2021.

O biodiesel de macaúba foi obtido através da reação de transesterificação utilizando um agitador magnético e um béquer com água e chapa aquecedora para controlar a temperatura. A reação durou 3h. Foram feitas lavagens do biodiesel obtido com água destilada a temperatura ambiente. A mistura resultante da reação foi transferida para o funil de separação, no qual a desagregação do biodiesel, da glicerina e da água foram concluídos pela gravidade do funil. Após a separação, o biodiesel foi colocado na estufa para retirada da umidade e a análise do rendimento de óleo em biodiesel feita por cromatografia gasosa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise físico-química do óleo utilizado para a produção do biodiesel tem como destinação a qualidade do óleo e a orientação da técnica que será utilizada para a matéria-prima em questão. A Tabela 3 apresenta os resultados das propriedades físico-químicas do óleo da polpa de macaúba.

Tabela 3 – Propriedades físico-químicas do óleo de macaúba

Óleo da polpa da macaúba	Experimento 1	Experimento 2	Média
Densidade a 20°C (kg/m ³)	911	923	917
Índice de Acidez (mgKOH/g)	3,46	3,42	3,44
Viscosidade a 40°C (mm ² /s)	30,513	28,987	29,75

Fonte: Autora, 2021.

O valor da viscosidade do óleo é superior ao valor da viscosidade de diesel. Por isso é realizada a transesterificação, pois o biodiesel tem a viscosidade mais próxima da viscosidade do diesel. De acordo com Silveira (2014) os valores dos ensaios de viscosidade cinemática encontram-se de acordo com as condições do óleo da macaúba, já que a viscosidade aumenta em concordância com o comprimento das cadeias carbônicas.

O índice da acidez média das duplicatas da polpa do fruto foi de 3,44 mg de KOH/g, o valor alto encontrado indica que as condições de armazenamentos do fruto não foram eficientes, já que o valor ideal para a produção do biodiesel é abaixo de 2 mg de KOH/g (MORETTO e FETT, 1998; FERNANDES, 2010).

Foram observados também os valores da análise físico-química do biodiesel como forma de confirmar a veracidade da técnica adotada e confiabilidade do cumprimento das exigências da norma para comercialização, Tabela 4.

Tabela 4 – Características físico-químicas do biodiesel da polpa da macaúba

Biodiesel de Macaúba	Experimento 1	Experimento 2	Média
Densidade a 20°C (kg/m ³)	890	885	887,5
Índice de Acidez (mgKOH/g)	0,49	0,50	0,495
Viscosidade a 40°C (mm ² /s)	4,005	4,205	4,105

Fonte: Autora ,2021.

As análises das características físico-químicas do biodiesel foram feitas apenas com o experimento que obteve o maior rendimento no planejamento experimental (experimento 5).

Para o biodiesel ser comercializado no Brasil, algumas especificações devem ser atendidas. De acordo com a ANP para a comercialização do biodiesel, a densidade (Kg/m³) máxima deve ser de 850 a 900; a viscosidade cinemática a 40°C (mm²/s) deve ser entre 3,0 a 6,0 e o índice de acidez (mgKOH/g) deve ser menor do que 0,50. Esses três fatores foram analisados neste trabalho a fim de observar se o biodiesel de macaúba tem potencial para comercialização.

Foi possível observar que os valores entre o óleo e o biodiesel são significativamente distintos, com destaque para a viscosidade e para o índice de acidez. A viscosidade é um grande prejudicial para a eficiência do motor e da vida útil do automóvel. E elevada acidez dificulta a reação de produção do biodiesel, enquanto que um biodiesel ácido pode provocar corrosão do motor, ou deterioração do biocombustível.

O valor da densidade média das duplicatas foi de 917 kg/m³ para o óleo e 887,5 kg/m³ para o biodiesel. O valor encontrado da densidade no biodiesel encontra-se dentro da faixa permitida pela

ANP. Os valores da viscosidade encontrados foram de 29,75 mm²/s para a polpa e de 4,105 mm²/s para o biodiesel, a viscosidade no biodiesel encontra-se dentro das especificações da norma. É possível verificar que a transesterificação reduziu bastante a viscosidade do óleo, deixando o biodiesel com viscosidade mais próxima a do diesel.

A transesterificação também reduziu o índice de acidez que para o óleo teve o valor médio de 3,44 mgKOH/g e para o biodiesel 0,495 mgKOH/g, deixando também esse valor dentro das especificações da ANP.

Os resultados da produção de biodiesel da polpa da macaúba utilizando o planejamento experimental 23, totalizando assim 8 experimentos, com os fatores citados na metodologia, podem ser observados na Tabela 5. Pode ser analisado também o rendimento médio de cada experimento. É necessário fazer uma duplicata de cada análise a fim de validar os resultados obtidos. Com a concretização das duplicadas, o total de experimentos realizados foram 16.

Tabela 5 – Matriz do planejamento fatorial 2³

Experimento	1	2	3	R1 (%)	R2 (%)	RM (%)
1	-	-	-	93,6	95,1	94,4
2	+	-	-	89,3	86,9	88,1
3	-	+	-	82,3	79,9	81,1
4	+	+	-	80,1	80,8	80,5
5	-	-	+	98,1	97,3	97,7
6	+	-	+	95,4	97,2	96,3
7	-	+	+	94,0	93,1	93,6
8	+	+	+	90,7	91,1	90,9

Fonte: Autora, 2021.

É possível observar que apenas o experimento 5, que foi conduzido com metanol, H₂SO₄ e 60°C alcançou um rendimento superior a 96,5%. As demais reações teriam que ser otimizadas para que o biodiesel pudesse ser comercializado.

Para facilitar o entendimento de como as variáveis influenciaram no rendimento, foram calculados os efeitos principais e de interação com os dados da Tabela 5. Os resultados dessas avaliações foram executados utilizando o software científico para computação numérica scilab, Tabela 6.

Tabela 6 – Efeitos calculados para planejamento fatorial 2³

Fator	Efeito
Efeitos principais	
1:Álcool	- 2, 75
2:Catalisador	- 7,6
3:Temperatura (°C)	8,6
Interações de dois fatores	
Álcool-Catalisador (12)	1,1
Álcool-Temperatura (13)	0,7
Catalisador-Temperatura (23)	2,85
Interações entre os três fatores	
A-C-T (123)	-1,75

Fonte: Autora ,2021.

De acordo com os dados da tabela, o tipo de álcool teve um efeito negativo. Isso significa que passando do nível inferior (metanol) para o nível superior (etanol) o rendimento caiu 2,75%, o que comprova que o metanol levou a melhores rendimentos. Isso se deve ao fato do metanol, por ser um álcool de cadeia mais curta, ser mais reativo que o etanol. A vantagem do etanol é ser um álcool renovável. Então, pode-se tentar otimizar outros parâmetros da reação para obter bons rendimentos com reações utilizando etanol. Um dos fatores que pode ser otimizado é a razão molar óleo/álcool. Para reações com etanol essa razão costuma ser maior para que se possa obter maiores rendimentos.

Analizando o efeito do catalisador, é possível observar que este também foi negativo, o que significa que passando do nível inferior (H_2SO_4) para o nível superior (HCl) o rendimento caiu 7,6%, mostrando que o H_2SO_4 levou a maiores rendimentos. Por apresentar grande quantidade de ácidos graxos livres, a catálise básica tradicional não é indicada para o óleo de macaúba, sendo a catálise ácida a mais indicada.

A catálise heterogênea, pensada inicialmente, não pôde ser realizada, pois o catalisador seria produzido em um laboratório parceiro e, com o avanço da pandemia no final de 2020, novamente foi reduzida a quantidade de pessoas que utilizavam o laboratório, não sendo possível fazer o catalisador para as análises.

Analizando o efeito de interação catalisador-temperatura é possível verificar que esse foi positivo, logo o HCl levou a maiores rendimentos em reações com a maior temperatura. As demais interações tiveram valores pequenos (menor que 2) não sendo tão significativas como as interações principais.

A elevação da temperatura do nível inferior ($28^{\circ}C$) para o nível superior ($60^{\circ}C$) proporcionou um efeito positivo (8,6%) no rendimento. Para reações de transesterificação, maiores temperaturas levam a maiores rendimentos. A vantagem da utilização de temperatura ambiente é deixar o processo de produção mais econômico sem a necessidade do controle de temperatura.

Para alcançar maiores rendimentos na transesterificação, as variáveis de projeto também podem ser otimizadas. Para isso é necessário fazer a reação utilizando agitação mecânica com a presença de agitador e com controle de rotação para que esses parâmetros possam ser analisados e otimizados.

4. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos na produção do biodiesel da polpa da macaúba, conclui-se que a mudança da temperatura interfere nos rendimentos do processo, deste modo a economia esperada com o uso na temperatura ambiente não é possível de ser feita nas condições estudadas. O metanol se mostrou um ótimo tipo de álcool para a transesterificação da macaúba, apresentando uma alta conversão dos triacilglicerídeos em ésteres, além de gerar uma economia devido o seu custo.

Outras temperaturas e outros catalisadores podem ser estudados para a produção do biodiesel de macaúba, estes combinados com o etanol, que é de origem renovável, ou seja, menos agravante para a natureza, assim verificando a sua eficiência.

O maior rendimento neste experimento foi de 97,7% com o metanol como álcool, o catalisador homogêneo ácido H_2SO_4 e com a temperatura de $60^{\circ}C$. O planejamento experimental para encontrar as interações dos fatores foi de suma importância para a realização deste trabalho, com essa ferramenta foi possível garantir informações seguras do processo e a melhor combinação das interações dos fatores. A melhor combinação das variáveis com os dois fatores foi com o catalisador e a temperatura.

Os resultados da caracterização físico-química do óleo de macaúba apresentaram valores altos no índice de acidez, densidade e viscosidade, resultante das condições de armazenamento das amostras. Os ensaios de caracterização físico-química do biodiesel de macaúba indicaram que todos os parâmetros estavam de acordo com os limites da especificação.

A macaúba é uma matéria-prima potencial para a produção de biodiesel, pois produz biodiesel com características que atendem às exigências da ANP para comercialização.

Mais análises não puderam ser realizadas devido à pandemia, que limitou o número de usuários nos laboratórios. Os laboratórios do CECA, o LASSOP e o Grupo de Catálise e Reatividade Química (GCaR) da UFAL foram fundamentais para o andamento deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA

- ANP, AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. (2008) Resolução ANP nº. 58 de 19 de março de 2008 (DOU 20.3.2008). Regulamento Técnico nº 01/ 2008. Diário Oficial da União. Brasília. DF. 2008. Disponível em: www.anp.gov.br. Acesso em: 28 ago. 2021.
- ANP, 2019. Resolução ANP nº 798, de 1.8.2019 – DOU 2.8.2019. Disponível em: <http://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-798-de-1-de-agosto-de-2019-208544998>. Acesso em: 20 fev. 2020.
- CHING, Wang Hsiu; RODRIGUES, Clovis Walter. Biodiesel. SEBRAE. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/NT00035116_000gihb7tn102wx5ok05vadr1szzy3n.pdf. Acesso em: 28 ago. 2021.
- FERNANDES, J. D. **Análise técnica e econômica da adubação mineral e orgânica sob o cultivo da mamona e do pinhão manso.** Tese (Doutorado em Recursos naturais) – Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. Paraíba, 2010.
- GOES, Tarcizio et al. **Biodiesel e sua Sustentabilidade.** EMBRAPA, 2010.
- MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos,** Ed. Livaria Varela, São Paulo, 1998.
- PEITER, A. S. **Estudo experimental, simulação e modelagem do efeito de agitação e mistura no processo da produção de biodiesel de soja (Glycine Max) metílico e etílico.** 2017. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Paraíba, 2017.
- REZENDE, D. B. **Remoção de ácidos graxos livres do óleo da polpa do fruto da macaúba: projeto básico visando o acoplamento em usinas de biodiesel.** 2015. 135f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2015.
- SILVEIRA, Sandro Dourado. **PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE ÓLEO DE MACAÚBA (Acrocomia aculeata) VIA ESTERIFICAÇÃO SEGUIDA DE TRANSESTERIFICAÇÃO METÍLICA COM CATALISADOR BÁSICO.** 2014. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://186.202.79.107/download/producao-de-biodiesel-de-oleo-de-macauba-via-esterificacao.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2021.
- WANDECK, F. A.; JUSTO, P. G. **A macaúba: fonte energética e insumo industrial- sua significação econômica no Brasil.** Brasília: [S. I.: s.n.], 1988.

(In)Coerência na política fiscal perante o desafio das alterações climáticas: uma análise dos subsídios ao carvão

The coherence of fiscal policy facing the challenge of climate change: na coal subsidies analysis

Juliana Pacheco Barbosa¹

Sumário: 1. Introdução. 2. Política fiscal, climática e energética: o caso dos subsídios aos combustíveis fósseis em especial ao carvão. 3. Incoerência entre política fiscal e climática. 4. A alteração regulatória como incentivo para redução do carvão. 5. Os incentivos ao carvão no Brasil e sua relevância para a matriz elétrica. 6. Conclusões Bibliografia.

Resumo: Um ponto central nas discussões na área de energia da 26^a Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas (COP26) foi certamente o fim do uso de carvão para a geração de eletricidade. Em termos globais, o carvão é o combustível usado em um terço da geração de eletricidade e, conforme o International Panel for Climate Change (IPCC) ele deverá deixar de fazer parte da matriz elétrica a nível mundial até no máximo 2040 para que os objetivos do Acordo de Paris possam vir a ser atingidos. Mais de 11 bilhões de euros foram destinados a subsídios ao carvão nos países da OECD em 2020, 41% menos do que em 2010, conforme dados da instituição. No Brasil, recursos oriundos da Conta de Desenvolvimento Energético são destinados anualmente aos subsídios ao Carvão. Em Portugal, uma revisão no quadro legal de subsídios ao carvão ocorrida em 2018 pode explicar a antecipação do fechamento de uma das duas centrais a carvão do país: esta experiência é tida como um caso de estudo do impacto da regulação nas escolhas dos agentes econômicos ligados à geração de eletricidade baseada em carvão. O trabalho busca descontaminar os subsídios que ainda são dados ao carvão nos países da OCDE, no Brasil, na China, na Rússia e na Índia, relacionando-os com a geração de eletricidade nestes territórios, os novos investimentos em fontes renováveis e não renováveis, a capacidade instalada dos territórios e as emissões de gases de efeito estufa associados a geração de eletricidade. Além de fazer uma classificação dos diferentes tipos de subsídios, o trabalho discute sugestões de substituição destes subsídios ao carvão por investimento em energias renováveis modernas como forma de alinhamento ao objetivo de estabilização climática com uma elevação da temperatura média da terra em 1,5°C em relação ao período pré-industrial até 2100.

Palavras-chave: Subsídios; Mudanças Climáticas; COP26.

Abstract: A central point in the discussions in the energy area of the 26th Conference of the Parties to the United Nations Convention on Climate Change (COP26) was certainly the end of the use of coal for the generation of electricity. In global terms, coal is the fuel used in one third of electricity generation and, according to the International Panel for Climate Change (IPCC), it should no longer be part of the global electricity matrix by 2040 at the latest so that the objectives of the Paris Agreement may be reached. More than 11 billion euros were earmarked for coal subsidies in OECD countries in 2020, 41% less than in 2010, according to the institution's data. In Brazil, resources from the Energy Development Account are allocated annually to subsidies for Coal. In Portugal, a review of the legal

¹ Doutora em Alterações Climáticas e Políticas para o Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Nova de Lisboa, pesquisadora no Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Juliana.barbosa@lNEG.pt

framework for subsidies to coal that took place in 2018 may explain the anticipation of the closure of one of the country's two coal plants, this experience is seen as a case study of the impact of regulation on the choices of economic agents linked to coal-based electricity generation. The work seeks to uncover the subsidies that are still given to coal in OECD countries, Brazil, China, Russia and India, relating them to electricity generation in these territories, new investments in renewable and non-renewable sources, the installed capacity of the territories and the emissions of greenhouse gases associated with the generation of electricity. In addition to classifying the different types of subsidies, the paper discusses suggestions for replacing these subsidies to coal by investing in modern renewable energies as a way of aligning with the objective of climate stabilization with an increase in the average temperature of the earth by 1.5oC in relation to the pre-industrial period until 2100.

Keywords: Subsidies; Climate change; COP26.

1. Introdução

A eminência do agravamento das alterações climáticas traz uma reflexão acerca da importância da coerência das políticas públicas voltadas ao tema. Tida por alguns autores (ROCKSTRÖM et al., 2009) como a mais grave e urgente das externalidades negativas já produzidas pelo sistema econômico, as alterações climáticas com suas causas e estratégias de mitigação têm sido objeto de consenso científico e político (IPCC, 2018a; UNFCCC, 2015).

Todavia, a inércia da adaptação jurídico-regulatória pode ser maior do que o desejável para que possa ser de fato limitada a elevação da temperatura média do planeta até ao final do século. Um exemplo trazido no presente trabalho é a discussão acerca dos subsídios aos combustíveis fósseis em especial aqueles destinados ao carvão.

O trabalho mostra uma evolução dos subsídios ao carvão em contextos regionais considerados relevantes para a discussão, seja pelo volume absoluto de subsídios seja pelo grau de dependência energética que há em relação à fonte ou ainda a existência de alterações regulatórias positivas. Os recortes regionais são: OECD com algum destaque para a Alemanha, China, Índia, Portugal e Brasil. O recorte temporal buscou os dados mais recentes para perceber a evolução da trajetória de alguns indicadores entre 2015 e 2020. Os indicadores considerados relevantes foram os subsídios absolutos ao carvão, a geração de eletricidade com base no carvão, o nível de dependência energética do carvão para a geração de eletricidade e o valor do subsídio por unidade de eletricidade gerada baseada em carvão.

O objetivo principal do trabalho é tão somente mostrar algum descompasso ou incoerência entre a política fiscal na forma de subsídios energético e a urgência de efetivação das medidas de mitigação das alterações climáticas. Os dados para OECD, China, Índia e Portugal são aqueles disponibilizados em (IEA, 2021b; OECD, 2020). Para o Brasil, é feita uma análise com maior granularidade e são considerados os subsídios ao carvão que constam nas saídas da Conta de Desenvolvimento Energético entre 2016 e 2021(CCEE, 2018, 2020a, 2020b; EPE, 2021). O presente trabalho não entra na discussão acerca dos volumes totais de subsídios(MORGAN, 2007; SOVACOOL, 2017) mas busca uma fonte única para um grupo de atores centrais na discussão.

2. Política fiscal, climática e energética: o caso dos subsídios aos combustíveis fósseis em especial ao carvão

Conforme (SOVACOOL, 2017) o argumento a favor dos subsídios energéticos seria a alocação de “recursos públicos em áreas negligenciadas de infraestrutura e desenvolvimento”. Este mesmo

autor, no trabalho citado, faz uma extensa avaliação dos subsídios energéticos e acaba por concluir que de maneira geral eles representam mais um custo do que um benefício à sociedade. É importante, contudo ressaltar do trabalho citado que subsídios energéticos podem ter um importante caráter social se forem uma estratégia de combate à pobreza energética.

Segundo a OCDE, os subsídios aos combustíveis fosseis podem ser definidos como: “Transferências orçamentárias e despesas fiscais que proporcionem um benefício ou preferência para a produção ou consumo de combustível fóssil”(OECD, 2020). Este tipo de apoio governamental pode ser dado ao consumidor, ao produtor ou ao sistema elétrico como um todo de forma a beneficiar a fonte. Os benefícios podem ser em subvenções diretas nos preços, transferências diretas de recursos ou benefícios fiscais.

Historicamente os subsídios aos combustíveis fosseis e em especial ao carvão, estiveram associados ao progresso econômico. No trabalho de (MÜLLER-HANSEN et al., 2021) é feita uma análise dos discursos envolvendo o carvão no parlamento alemão ao longo de 70 anos e conclui-se que inicialmente o carvão era visto como um motor ao desenvolvimento e que mais recentemente as discussões que o envolvem giram muito mais em torno da transição energética no sentido da sustentabilidade.

A justificativa histórica para este tipo de apoio governamental assenta em dois fatores, a segurança energética e a manutenção de empregos. O primeiro caso diz respeito à segurança no abastecimento de eletricidade, quando o subsidio eleva artificialmente a competitividade da fonte no mercado por conta da dependência que a matriz elétrica do país tem da fonte, mas também pode aplicar-se ao consumidor em uma situação de insegurança energética. No que se refere ao emprego, segundo estimativas de Alves Dias et al. (2018), o setor do carvão empregava em 2017 cerca de 237.000 pessoas na Europa majoritariamente nas 128 minas mas também nas mais de 200 termoelétricas alimentadas com esta fonte.

Conforme o Painel intergovernamental para as mudanças climáticas (IPCC), as usinas termoelétricas abastecidas por carvão representam a principal fonte de emissões de gases de efeito estufa dos compromissos já assumidos em termos de geração fóssil (IPCC, 2018b). A fonte era responsável pelo abastecimento de cerca de um terço da eletricidade líquida produzida pelos países da OCDE em 2010 mas este percentual caiu para um quinto em 2021(IEA, 2021b), figura 1 (c).

Conforme o cenário de emissões líquidas de gases de efeito estufa próximas a zero em 2050 da Agência Internacional de Energia, em 2040 deverão ser fechadas as usinas de carvão que não tiverem mecanismos de abatimento das suas emissões (IEA, 2021a). Um dos grandes avanços conseguidos na COP26 foi exatamente um compromisso assumido por dezenas de países de fechamento das usinas movidas a carvão e do término do financiamento de novas usinas com recursos internacionais.

3. Incoerência entre política fiscal e climática

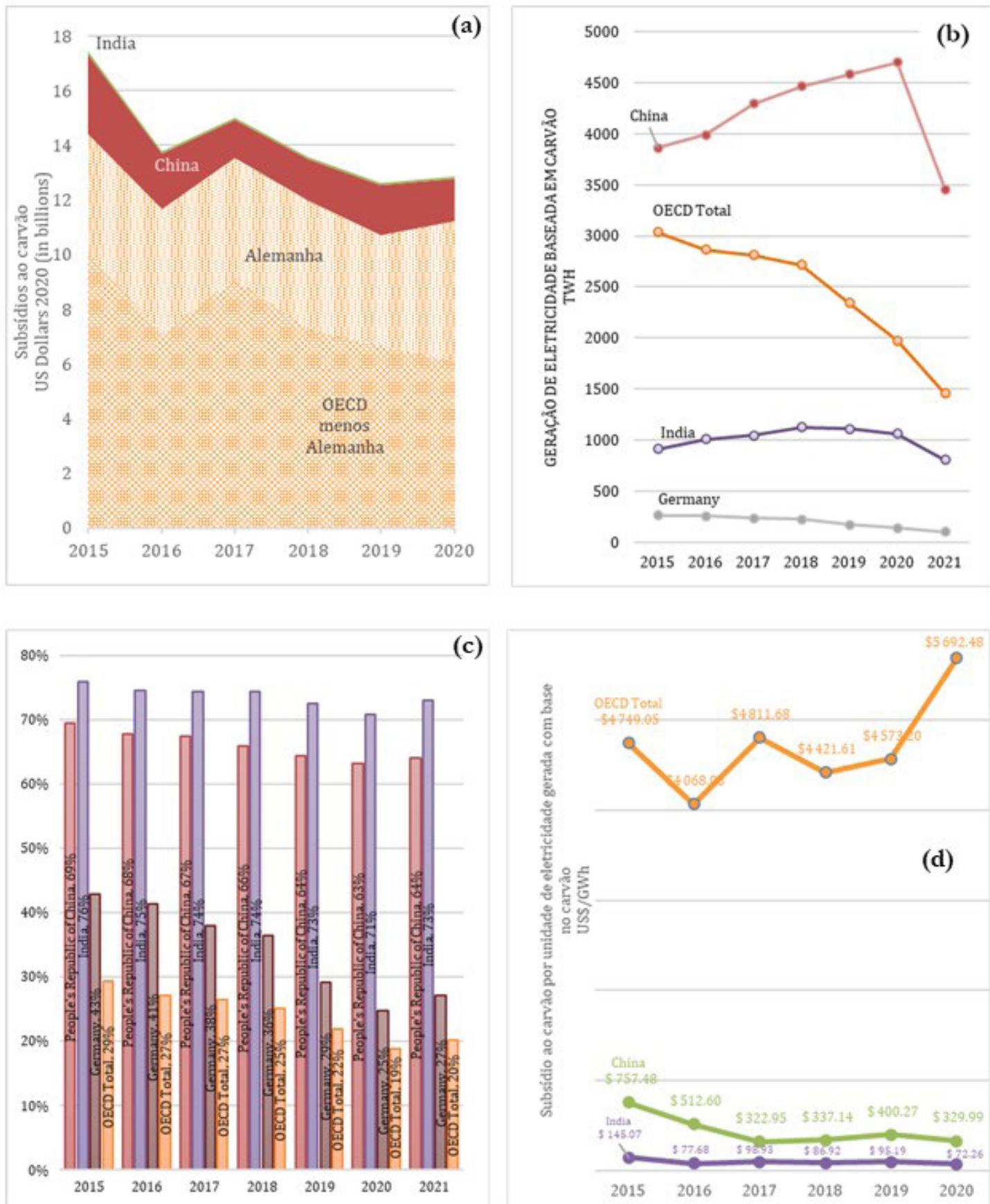
Em termos absolutos os subsídios ao carvão por parte dos países da OECD caíram mais de 40% entre 2010 e 2020 (OECD, 2020). Apesar destes avanços, observa-se a nível da política fiscal de dezenas de países uma incoerência entre os avanços em termos de política climática e a continuidade dos subsídios ao carvão. Estes subsídios representaram ainda 11 bilhões de euros em 2020 nos países da OECD (OECD, 2020), figura 1 (a). Embora sejam reduções expressivas é importante que se diga que o valor do subsídio por unidade de eletricidade baseada em carvão na OCDE elevou-se em cerca de 20% entre 2015 e 2020, passando de cerca de US\$ 4749,00/Gwh_{ele_carvão} para US\$ 5692,00/Gwh_{ele_carvão} conforme mostra a Figura 1 (d).

Do ponto de vista da dependência energética do carvão, o conjunto de países da OCDE apresentou uma redução desta dependência de mais de 30%. A China e a Índia apresentaram uma eleva-

ção na geração de eletricidade entre 2010 e 2020 com base no carvão mineral e uma leve redução na dependência. Embora os subsídios ao carvão tenham diminuído na OCDE, bem como a geração de eletricidade com base nesta fonte, figura 1 (b), destaca-se o papel da Alemanha, o principal fornecedor de subsídios ao carvão ao nível da OCDE representando mais de um quarto do total de subsídios em 2020.

Segundo (XIANG; KUANG, 2020) a indústria do carvão na China além de ser importante para o crescimento econômico por conta dos baixos custos de energia também tem um papel importante no emprego uma vez que emprega cerca de 6 milhões de pessoas.

Figura 1 – Subsídios absolutos ao carvão (a), geração de eletricidade baseada no carvão (b), dependência de carvão para a geração de eletricidade (c), subsídios por unidade de eletricidade gerada (d) 2015-2021 – países/regiones selecionados



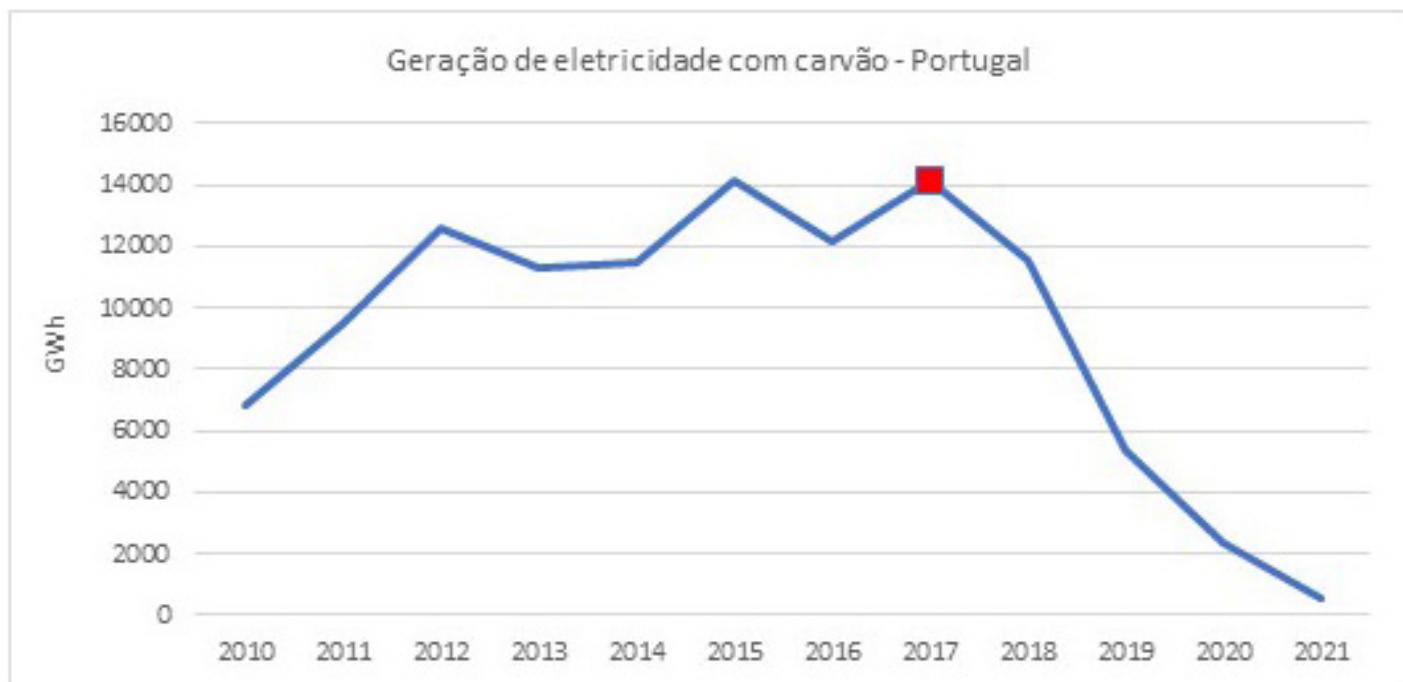
Fonte: Elaboração própria com dados de (OECD, 2020)

4. A alteração regulatória como incentivo para redução do carvão: o caso de Portugal – um exemplo de coerência

Em 2021, Portugal fechou as suas duas centrais termoelétricas movidas a carvão: a central de Sines fechou em Janeiro e a do Pego em Novembro. O fechamento antecipou em dois anos o compromisso assumido pelo governo português no Acordo de Paris. Conforme divulgado na imprensa e nos relatórios das empresas, o fechamento das centrais estaria ligado a uma perda da competitividade econômica da fonte considerando um ajuste regulatório realizado em 2018.

O Orçamento de Estado 2018, Lei 114/2017(LEI 114/2017, 2017) em seu artigo 251º, estabeleceu que o carvão mineral usado para a geração de eletricidade e calor deveria ser tributado em 10% da taxa de imposto sobre produtos petrolíferos e energéticos (ISP) e 10% da taxa de adicionamento sobre as emissões de CO₂. Estabeleceu ainda que estes valores seriam 25% em 2019, 50% em 2020, 75% em 2021 e 100% em 2022.

Figura 2 – Geração de eletricidade com carvão – Portugal 2010-2021



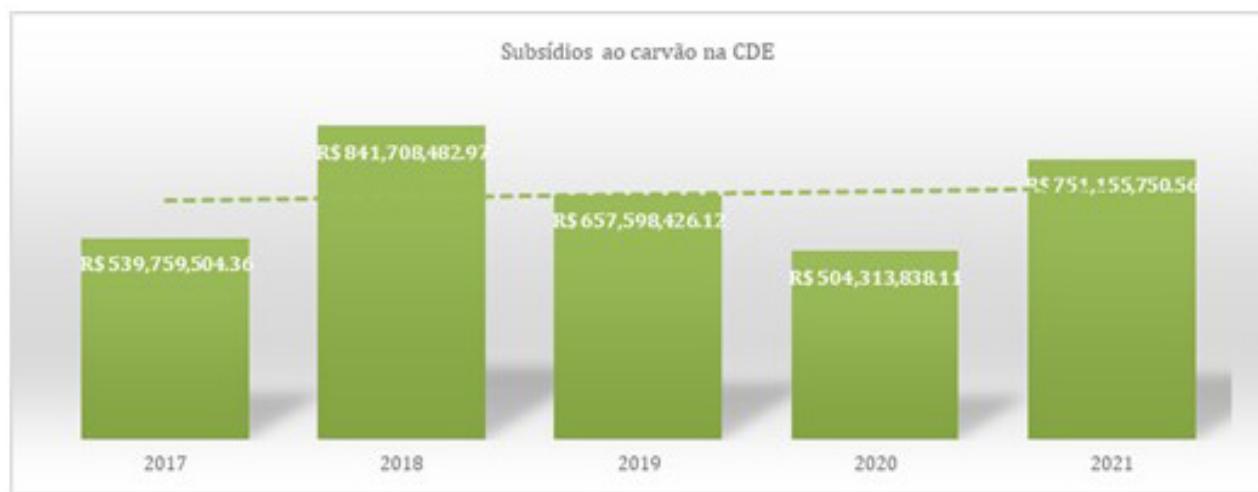
Fonte: Elaboração própria com dados de (IEA, 2021b). O quadrado vermelho indica o ano de 2017 quando houve a alteração regulatória favorável à redução da geração de eletricidade baseada no carvão

Ainda que a decisão de fechamento de usinas termelétricas antes do fim de sua vida útil envolva um conjunto de fatores, há uma grande probabilidade que a alteração supracitada explique a redução da geração e o fecho das centrais. Desta forma, Portugal poderia ser um exemplo de política fiscal coerente com os objetivos de descarbonização estabelecidos nos acordos internacionais como o Acordo de Paris e de Glasgow (UNFCCC, 2015, 2021).

5. Os incentivos ao carvão no Brasil e sua relevância para a matriz elétrica

No Brasil os subsídios ao carvão não apresentam uma trajetória clara de redução como acontece nos países da OCDE: nos cinco anos com dados disponibilizados pela CCCEE observa-se uma expressiva variação com tendência ascendente como mostra a Figura 3.

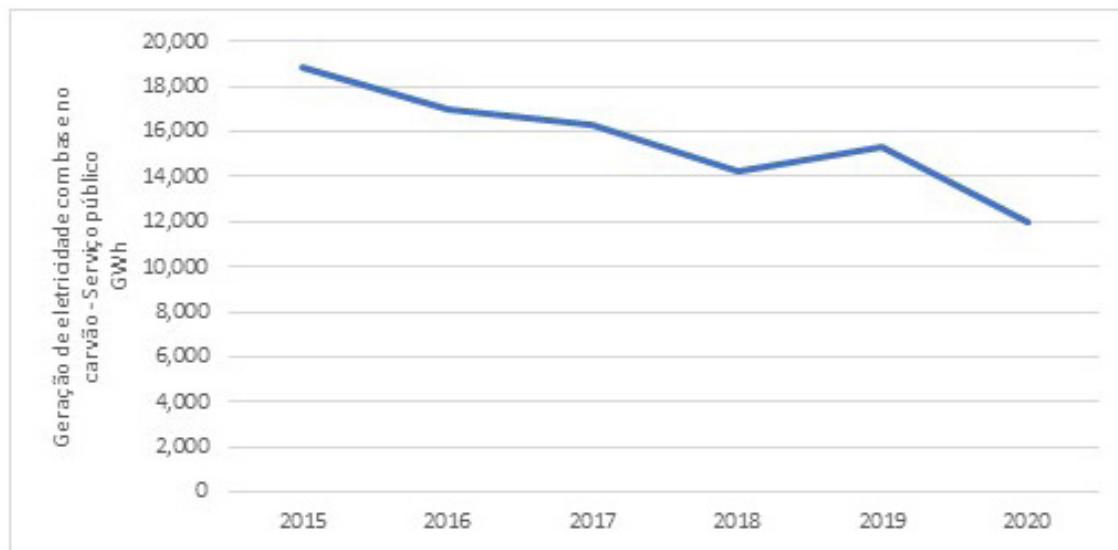
Figura 3 – Subsídios ao carvão: Saídas pagas da Conta de Desenvolvimento Energético para “reembolso do carvão mineral” – 2016-2021 – Brasil



Fonte: Elaboração própria com dados de (CCEE, 2018, 2020a, 2020b)

A geração de eletricidade no Brasil baseada no carvão apresentou por outro lado uma redução entre 2015 e 2020 em termos absolutos como mostra a figura 04 e também relativos, sendo que a fonte representava 3,2% da matriz em 2015 e 1,9% em 2020(EPE, 2021). Dada a baixa dependência da fonte bem como o seu decréscimo em termos absolutos, resta compreender a tendência ascendente dos referidos subsídios.

Figura 4 – Geração de eletricidade com base no carvão mineral em centrais de serviço público 2015-2020 – Brasil



Fonte: Elaboração própria com dados de (EPE, 2021)

6. Conclusões

O levantamento de dados do presente trabalho busca mostrar que há ainda um caminho a ser feito para que as políticas climáticas e fiscais possam ser coerentes no que se refere aos subsídios ao carvão mineral. O estudo mostra que há estratégias possíveis para ajustar as duas políticas como aquele adotado por Portugal. Adicionalmente destaca o descompasso entre a redução da geração de eletricidade de carvão e o aumento ou redução menos expressiva dos subsídios como é o caso do Brasil e da OECD. No caso de Índia e China, embora tenha havido uma elevação em termos absolutos, o valor dos subsídios por unidade de energia reduziu-se significativamente no período.

Agradecimentos: Agradeço à organização do Evex, à colega Sofia Simões pelos comentários, à Dra. Maria João Rolim e a todos os colegas do LNEG que participaram no evento interno de acompanhamento da COP26 em Novembro de 2021

Bibliografia

- ALVES DIAS, P. et al. **EU coal regions: opportunities and challenges ahead**, 2018.
- CCEE. **Demonstrativo de Saídas CDE_Acumulado_2017 posição 31**, 2018. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/contas/conta_cde/cde_gestao_conta?_afrLoop=163964085282068&_adf.ctrl-state=1cw9xx5llu_71#!%40%40%3F_afrLoop%3D163964085282068%26_adf.ctrl-state%3D1cw9xx5llu_75>
- CCEE. **Demonstrativo saídas CDE acumulado 2020 posição 31**, 2020a. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/contas/conta_cde/cde_gestao_conta?_afrLoop=163964085282068&_adf.ctrl-state=1cw9xx5llu_71#!%40%40%3F_afrLoop%3D163964085282068%26_adf.ctrl-state%3D1cw9xx5llu_75>
- CCEE. **Demonstrativo saídas CDE acumulado 2019 posição 31**, 2020b. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/contas/conta_cde/cde_gestao_conta?_afrLoop=163964085282068&_adf.ctrl-state=1cw9xx5llu_71#!%40%40%3F_afrLoop%3D163964085282068%26_adf.ctrl-state%3D1cw9xx5llu_75>
- EPE. **Séries Históricas Completas - Capítulo 5 (Balanço dos Centros de Transformação) 1970 - 2020**, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>>
- IEA. Net Zero by 2050 A Roadmap for the. p. 222, 2021a.
- IEA. **Monthly Electricity Statistics: Overview**, 2021b. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/monthly-electricity-statistics#monthly-electricity-statistics>>
- IPCC. **Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**. [s.l: s.n.]
- IPCC. **Global warming of 1 . 5 ° C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change - Sr15**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf>.
- LEI 114/2017. **Orçamento de Estado para 2018**, 2017. Disponível em: <<https://dre.pt/dre/detalhe/lei/114-2017-114425586>>
- MORGAN, T. **Energy subsidies: their magnitude, how they affect energy investment and greenhouse gas emissions, and prospects for reform**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://unfccc.int/files/cooperation_and_support/financial_mechanism/application/pdf/morgan_pdf.pdf>.
- MÜLLER-HANSEN, F. et al. Who cares about coal? Analyzing 70 years of German parliamentary debates on coal with dynamic topic modeling. **Energy Research & Social Science**, v. 72, p. 101869, 1 fev. 2021.
- OECD. **Fossil fuel support data and Country Notes**. Disponível em: <<http://www.oecd.org/fossil-fuels/data/>>.
- ROCKSTRÖM, J. et al. A safe operating space for humanity. v. 461, n. 7263, p. 472–475, 2009.
- SOVACOOL, B. K. Reviewing, Reforming, and Rethinking Global Energy Subsidies: Towards a Political Economy Research Agenda. **Ecological Economics**, v. 135, p. 150–163, 1 maio 2017.
- UNFCCC. **Paris Agreement**, 2015. Disponível em: <http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf>
- UNFCCC. **Glasgow Climate Pact**, 2021. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop26_auv_2f_cover_decision.pdf>
- XIANG, H.; KUANG, Y. Who benefits from China's coal subsidy policies? A computable partial equilibrium analysis. **Resource and Energy Economics**, v. 59, p. 101124, 1 fev. 2020.

Análise Comparativa Qualitativa (QCA) e sua aplicação no contexto da geopolítica da energia

*Qualitative Comparative Analysis (QCA) and its application
in the context of energy geopolitics*

Laila França Da Costa¹

Thiago L. Felipe Brito²

Sumário: 1. Introdução 2. Energia e geopolítica 3. Análise Comparativa Qualitativa (QCA) 4. Estudos que relacionam energia e geopolítica por meio da QCA 5. Conclusão

Resumo: Pelo fato de o acesso à energia ser determinante para o progresso e a prosperidade de uma nação, a busca por fontes energéticas faz-se uma grande preocupação do ponto de vista da estratégia nacional. Os combustíveis fósseis sempre estiveram ligados a essa questão, atuando como protagonistas nas relações comerciais ao redor do mundo, e estabelecendo hierarquias entre países produtores e compradores. Frente à perspectiva de esgotamento desses recursos – essenciais para o funcionamento do mundo como é conhecido hoje – criou-se uma demanda por fontes alternativas de energia, que tem como obstáculo superar barreiras tecnológicas, tornando as energias renováveis competitivas comercialmente. A dinâmica mercantil do setor energético é a responsável por gerar diversos conflitos ao redor do mundo, cujas causas estão relacionadas, principalmente, à abundância e dependência dos combustíveis fósseis, tal como o petróleo. Este trabalho tem por objetivo compreender essa dinâmica e como ela associa-se à geopolítica, verificando a aplicabilidade de uma metodologia específica para a conceituação dessa relação, a Análise Comparativa Qualitativa (QCA). A abordagem metodológica em questão foi desenvolvida pelo sociólogo inglês Charles Ragin em 1987, e baseada na Álgebra Booleana, objetiva traçar uma comparação sobre um número pequeno de casos a partir de condições dadas pela teoria. Os resultados esperados giram em torno da compreensão da utilidade da QCA para esse tipo de análise, e da verificação da possibilidade de uso de tal metodologia para estudos futuros.

Palavras-chave: Energia; Geopolítica; Análise Comparativa Qualitativa.

Abstract: Because access to energy is crucial to the progress and prosperity of a nation, the search for energy sources is a major concern from the point of view of national strategy. Fossil fuels have always been linked to this issue, acting as protagonists in trade relations around the world, and establishing hierarchies between producing and purchasing countries. Faced with the prospect of depletion of these resources - essential for the functioning of the world as it is known today - a demand for alternative energy sources has been created, which has as an obstacle overcoming technological barriers, making renewable energies commercially competitive. The mercantile dynamics of the energy sector is responsible for generating several conflicts around the world, whose causes are mainly related to the abundance and dependence of fossil fuels, such as oil. This work aims to understand this dynamic and how it is associated with geopolitics, verifying the applicability of a specific methodology for the conceptualization of this relationship, the Qualitative Comparative Analysis (QCA). The methodological approach in question was developed by the English sociologist Charles Ragin in 1987, and based on

¹ Graduanda do Curso de Geologia da Universidade de São Paulo - SP, laila.fc@usp.br;

² Doutor pelo Programa de Energia da Universidade de São Paulo - SP, thiagobrito@usp.br;

Boolean Algebra, aims to draw a comparison on a small number of cases based on conditions given by the theory. The expected results revolve around the understanding of the usefulness of the QCA for this type of analysis, and the verification of the possibility of using this methodology for future studies.

Keywords: Energy; Geopolitics; Qualitative Comparative Analysis.

1. Introdução

A partir da revolução industrial, a energia passou a ser estritamente necessária para as sociedades, podendo ser considerada um fator determinante para o desenvolvimento. Essa necessidade tornou-se maior devido a dois principais fatores que afetam as nações do mundo moderno: 1- o aumento populacional; 2- a intensificação do processo de industrialização, e consequentemente, do crescimento econômico. Ambas as situações descritas requerem, para que um país seja capaz de manter-se, o aumento do suprimento de energia.

Cada Estado faz uso dos recursos energéticos que tem à sua disposição, sejam eles fontes convencionais ou renováveis. As fontes convencionais tratam-se dos combustíveis fósseis, tal como carvão mineral, gás natural e petróleo. A vantagem desse tipo de recurso é que ele já está disponível naturalmente no ambiente, precisando apenas ser extraído e receber alguns tipos de tratamento a depender de seu uso. Além disso, também há a facilidade de transporte, o que permite que alcance grandes distâncias. Já as energias renováveis são as modalidades solar, eólica, geotérmica, hidráulica, dos oceanos e os biocombustíveis. Elas têm como ponto positivo gerar menos emissões de gás carbônico na atmosfera, e também serem uma alternativa aos combustíveis fósseis, que cada vez mais se tornam escassos. Porém, sua produção está sujeita às condições naturais, que nem sempre são favoráveis, e o alcance de seu transporte é mais limitado.

Devido à grande demanda, há uma incessante busca por fontes energéticas, que se traduz na disputa entre países por áreas com oferta abundante de petróleo, carvão mineral, gás natural e outros recursos fundamentais, como minerais estratégicos. Estes últimos vão desde os minérios considerados de base, ricos em elementos como cobre e zinco, aos possuidores dos Elementos Terras Raras, essenciais para a indústria tecnológica de alto nível, esta que, por sua vez, está à frente dos avanços relacionados à transição energética. Dessa maneira, essa situação é responsável por desencadear diversos conflitos mundiais, que têm suas causas associadas ao nível de abundância de recursos críticos (bens considerados fundamentais para o desenvolvimento econômico de um Estado ou para a manutenção do poder deste), e também à relação de dependência que se desenvolve a partir deles.

O início desses conflitos associa-se à depleção das reservas petrolíferas das grandes potências, tal como os Estados Unidos, que passaram a necessitar de importações. Consequentemente, o que se vê é que, a partir da segunda metade do século XX, houve um deslocamento do núcleo da produção petrolífera global para as periferias do mundo. Esta passou dos países industrializados para os países subdesenvolvidos, como a região do Oriente Médio e a Venezuela, onde se localizam as maiores reservas de hidrocarbonetos.

Sendo assim, um tema que torna-se pertinente é o estudo dessas relações conflituosas, tendo como objetivo compreendê-las, estabelecendo suas causas e verificando as semelhanças entre elas. Portanto, o presente trabalho busca o entendimento dessa dinâmica e como ela, de maneira geral, associa-se à geopolítica, verificando a aplicabilidade de uma metodologia específica para a conceituação dessa relação, a Análise Comparativa Qualitativa (QCA). Tal metodologia baseia-se na aplicação da álgebra booleana e estabelece a comparação como fundamento essencial de sua configuração, apresentando um potencial interessante para estudos na área referida acima.

2. Energia e geopolítica

A disponibilidade energética está fortemente atrelada ao desenvolvimento de uma nação, sendo imprescindível para o pleno funcionamento de todos os seus setores. Ela é essencial desde a manutenção do poderio militar de um país ao suprimento das necessidades básicas de sua população, tais como alimentação, aquecimento de residências, comunicação, transporte e desenvolvimento social, garantindo também conforto e qualidade de vida. (Brito; Santos; Rousseau; Nava, 2012). O fato é que, à medida que o nível de desenvolvimento de um país cresce (principalmente no que tange o setor tecnológico), mais ele requer o aumento de seu suprimento energético.

É possível verificar a relação entre energia e o estágio de desenvolvimento em que uma nação encontra-se a partir de seu consumo de energia comercial per capita. Tem-se que, quando essa medida encontra-se abaixo de uma Tonelada Equivalente de Petróleo por ano (1 TEM/ano), esse fator possui uma relação expressiva com indicadores de baixas condições sociais, tais como altas taxas de analfabetismo, mortalidade infantil e fertilidade, assim como expectativa de vida baixa. O mesmo não ocorre em nações com consumo per capita maior (cerca de 2 TEP/ano), que são tidas como mais desenvolvidas. (Goldemberg, 1998, apud Thomaz; Moreira, 2021, p. 229).

Pelos motivos citados, o controle e o usufruto das fontes energéticas são alvo de grande interesse. Seja por meio das energias convencionais, os combustíveis fósseis, ou as alternativas, conhecidas como renováveis, os Estados sempre estarão preocupados com duas questões: conquistar sua segurança e soberania energética. Esse primeiro conceito traduz-se em possuir uma disponibilidade abundante de recursos energéticos aos menores preços, no caso dos países consumidores, ou garantir que haja demanda pelo seu produto, tratando-se das nações exportadoras. Já em relação à soberania energética, há uma forte conexão com a ideia de nacionalismo de recursos, que almeja proteger os bens da nação partindo de políticas que visam a administração e o uso destes com base na sua necessidade doméstica de abastecimento a longo prazo.

Com isso, constrói-se uma dinâmica de importações e exportações de fontes energéticas, que constitui uma peça central no desenrolar da economia mundial. Assim são formadas hierarquias internacionais, onde o sistema de poder é definido por quem é capaz de gerar/extrair os recursos e vendê-los a quem precisa destes. No caso dos combustíveis fósseis, de maneira geral, os países importadores concentram-se nas regiões mais desenvolvidas do planeta, enquanto os exportadores em zonas mais economicamente dependentes.

Por muito tempo, os combustíveis fósseis (gás natural, carvão mineral e petróleo) estiveram à frente das negociações comerciais. Foi durante a Revolução Industrial, a partir do final do século XVIII, que o carvão mineral obteve destaque, tornando-se uma fonte de energia fundamental, até ser substituído, no século XX, pelo petróleo. Esse cenário passou a mudar frente ao iminente risco de esgotamento desses combustíveis, que ameaçava a economia global; o que impulsionou a busca por novas alternativas. Associado a esse fator, houve também, mais recentemente, a preocupação com a descarbonização do setor energético e a procura por fontes que evitassem a emissão de poluentes na atmosfera. Assim, surgiram as apostas nas fontes conhecidas como alternativas, que correspondem às energias solar, eólica, geotérmica, hidráulica, dos oceanos e os biocombustíveis.

O fato de os combustíveis fósseis já estarem disponíveis de maneira natural pelo planeta os torna preferíveis às formas de energia renováveis, que para a sua geração são dependentes das condições naturais, de difícil controle. Ademais, apesar de haverem esforços para impulsionar o uso de energias alternativas, ainda existem muitas barreiras tecnológicas e logísticas a serem superadas para torná-las em ampla escala competitivas comercialmente. Portanto, os combustíveis de origem fóssil como petróleo, carvão e gás natural, seguem sendo predominantes na matriz energética global.

Em 2020, o consumo de energia no mundo consistia em 83% associado a esse tipo de recursos, e apenas o restante derivado de energias renováveis. (BP, 2021)

Dessa forma, o acesso à energia pode ser qualificado como um interesse primordial para um país, uma vez que é uma garantia de desenvolvimento, assegurando sua estabilidade e seu crescimento econômico. Porém, devido a uma variedade de condições geológicas, os combustíveis fósseis não apresentam uma distribuição homogênea pelo globo terrestre, o que compromete sua disponibilidade para todos. Tendo em vista essa situação de escassez, “o acesso à energia implica uma articulação entre produtores e consumidores, envolvendo conflito, negociação e consenso” (FUSER, 2013, p. 6).

Essa dinâmica comercial prevê uma disputa de interesses tanto entre Estados, que procuram beneficiar-se da receita proveniente do mercado da energia, como entre empresas, estatais e privadas, que obtêm lucros principalmente por meio dos setores da indústria do petróleo, conhecidos como *Upstream*, *Midstream* e *Downstream*. As interações descritas são responsáveis por gerar diversos conflitos, e também relações de cooperação. A partir da importância vital que é dada à posse dos recursos energéticos, a questão deixa de ser um tema meramente econômico para se tornar assumidamente um assunto do interesse militar.

A lógica dos conflitos energéticos globais relaciona-se com o eixo Norte-Sul, e é devida a dois principais fatores: a) o fato de as fontes energéticas exportáveis se concentrarem na região do Oriente Médio, América Latina e antiga União Soviética; b) esgotamento das reservas de petróleo dos EUA, país que a partir da década de 70 teve a necessidade de importar esse recurso para abastecer-se. (FUSER, 2013). As relações de cooperação entre Estados envolvem desde a participação ou declaração de apoio em conflitos armados, à formação de organizações com o objetivo de regular a produção e comercialização de petróleo, como a Organização dos Países Exportadores de Petróleo (Opep).

Além disso, outra situação decorrente da dinâmica comercial do setor energético é a dependência econômica que é desenvolvida pelas exportações de combustíveis fósseis. O conceito definido como “maldição dos recursos naturais” aborda bem essa situação. O fenômeno prevê que a abundância de recursos naturais, tal como o petróleo, impede o desenvolvimento de um país, pois o governo deste esquece-se da importância de manter uma boa administração econômica (SOUZA, 2009). Ou seja, o país concentra-se em obter as receitas referentes às exportações dos bens naturais, que são imediatas, e não realiza investimentos em sua industrialização, o que a longo prazo conduz a um cenário de fragilidade econômica.

3. Análise Qualitativa Comparativa

Uma metodologia interessante que tem tornado-se cada vez mais popular em estudos de diversas áreas, inclusive a da energia e geopolítica, é a Análise Comparativa Qualitativa (do inglês: Qualitative Comparative Analysis – QCA), que apresenta-se como uma metodologia do ramo das ciências sociais que estabelece a comparação como fundamento essencial de sua configuração. O método partiu da motivação de seu criador de elaborar uma ferramenta de análise mais adequada que as tradicionais, baseadas em critérios qualitativos e quantitativos, permitindo realizar-se uma abordagem mais acurada em variados tipos de pesquisas. Em 1987, Charles Ragin, cientista social norte americano, publicou seu livro intitulado “The Comparative Method: moving beyond qualitative and quantitative strategies”, no qual definiu as bases de sua metodologia.

A QCA fundamenta-se na utilização de conceitos da álgebra booleana, que quando aplicados estabelecem possíveis condições que explicam ou não um determinado resultado, sendo útil para a verificação de testes e teorias. Diferentemente de métodos estatísticos convencionais, a Análise Comparativa Qualitativa não admite a separação de suas causas em variáveis independentes tendo em

vista a influência individual destas no resultado (“outcome”). Na verdade, o método faz uma análise em conjunto de todas as condições estabelecidas, e é ideal para se trabalhar com um dataset de tamanho médio ($10 < n < 100$), preservando assim a riqueza de aspectos qualitativos relevantes em cada caso.

Na execução prática da metodologia, às condições selecionadas com base na teoria são agrupadas na forma de uma “tabela-verdade”, sendo atribuídas para cada uma delas valores binários: 1 e 0, que representam a presença ou ausência de uma condição, respectivamente. A partir disso, originam-se combinações lógicas, que produzem o outcome. Essa estrutura torna mais objetiva e visual a análise, evidenciando quais as combinações possíveis para se atingir determinado resultados.

Na QCA, cada caso é qualificado a partir de suas características e quantificado em variáveis booleanas tratadas em conjunto, o que confere à análise maior eficiência. Na tabela verdade, cada linha representa uma combinação específica que leva a algum tipo de resultado. Com base nessa observação, é possível dividir as condições em duas classes: necessárias (aqueles que obrigatoriamente devem estar presentes para que o resultado ocorra, ou seja, $outcome = 1$) e suficientes (aqueles que sozinhas implicam no $outcome = 1$). Também, pela leitura da tabela-verdade é possível ficar atento a outro fator importante: as contradições. Elas ocorrem quando uma mesma combinação de condições gera resultados diferentes, tornando necessária a revisão do trabalho a fim de solucioná-las.

Conforme estabeleceu-se ao longo dos anos, a Análise Comparativa Quantitativa passou por aprimoramentos feitos pelo próprio Ragin em conjunto com outros pesquisadores. Como resultado, a metodologia foi dividida em três variações: crisp-set QCA, Multi-value QCA e fuzzy-set QCA.

A Crisp-Set (csQCA) pode ser definida como a abordagem puramente Booleana da QCA, sendo a mais popular na comunidade científica, dada a simplicidade de sua execução em relação às demais técnicas. Ela foi a primeira a ser proposta por Ragin, e sua estrutura consiste basicamente no que foi descrito anteriormente, com dicotomização dos dados. Essa característica binária dessa forma de análise, em que só é possível categorizar as condições em 0 ou 1 (sim ou não, baixo ou alto), pode comprometer a complexidade dos fenômenos sociais em alguns casos, o que não a torna adequada para alguns tipos de estudos que a rigor envolvem mais complexidade.

Em virtude dessa limitação, Charles Ragin publicou, em 2000, a obra “Fuzzy-Sets Social Sciences” (fsQCA) onde expande a lógica da QCA. Baseada na álgebra Fuzzy, essa nova técnica permite que variáveis tenham diferentes graus de associação a um conjunto, que, no caso da QCA, são condições e produtos. Em outras palavras, ao invés de se atribuir 0 ou 1 às variáveis, atribui-se-lhes uma escala entre 0 e 1, indicando a variação entre “nenhuma” e “total associação”, respectivamente. Em geral, o pesquisador define (calibra) limites de associação e os atribui às suas variáveis. Por exemplo: um caso X pode ter diferentes graus de associação à uma condição A, como: nenhuma (0), baixa (0,25), média (0,5), alta (0,75) ou total (1).

Há ainda a variedade multi-value, que pode ser entendida como um meio-termo entre as técnicas anteriormente citadas. Buscando-se novamente uma alternativa ao problema da dicotomização que compromete o alcance da crisp-set, no entanto, sem exigir a complexidade da fuzzy-set, surge a mvQCA. Nas análises em que as condições não podem ser resumidas em dois valores o ideal é ampliar o número de valores, dando às condições múltiplos valores. Sendo assim, os valores assumem valores que podem ser 0, 1 e 2, por exemplo, para especificar tipos intermediários como: pequeno, médio e alto. A vantagem da mv-QCA é introduzir mais complexidade na análise de casos, tendo em vista a composição de um número limitado de possibilidades teóricas, diferentemente do que ocorre com a análise fuzzy-set, que é melhor para analisar grupos mais complexos de casos.

De acordo com um depoimento de Rihoux (2013), não cabe dizer qual o melhor modelo entre as variedades de QCA apresentadas, pois cada uma possui funções e aplicabilidade diferentes, e cada tipo de pesquisa exigirá uma abordagem específica.

4. Estudos que relacionam energia e geopolítica por meio da QCA

A Análise Comparativa Qualitativa, mais especificamente a técnica fuzzy-set, é tida por pesquisadores como promissora, apresentando um grande potencial de proporcionar resultados inovadores. Sua adoção destaca-se internacionalmente, e quando somada à técnica crisp-set, é largamente utilizada, estando presente em um número considerável de artigos científicos. No Brasil, no entanto, a metodologia apresenta-se ainda de maneira muito tímida, estando restrita a apenas 4 artigos publicados em periódicos nacionais (DIAS, 2011).

Dentro da seção temática energética, a QCA é presente em estudos de diversos segmentos. Somente nos últimos anos, é possível destacar três estudos como relevantes na abordagem da relação entre recursos energéticos e causas de conflitos geopolíticos.

Em "Why do some oil exporters experience civil war but others do not?: investigating the conditional effects of oil" (BASEDAU; RICHTER, 2013), os autores associam fortemente o petróleo e o gás natural a causas de guerras civis. A técnica crisp-set foi adotada para realizar a comparação entre países exportadores de petróleo no período de 1970 e 2008, e as condições do estudo foram definidas como: 1- dependência por petróleo (*dependence*); 2- relação entre estado e povo quanto à localização das jazidas (*overlap*); 3- abundância do recurso (*abundance*); 4- democracia como forma de governo (*democracy*). O produto final foi definido como a ocorrência de uma guerra civil, e os resultados obtidos (positivo e negativo) consideraram as combinações entre as condições citadas.

Assim, verificou-se que 1) uma combinação de uma alta dependência com uma ausência de abundância, ou 2) quando o país enfrenta uma alta influência da localização das jazidas entre o povo e o estado com uma ausência de abundância de petróleo e uma baixa atuação democrática, irá acontecer uma guerra civil. Em outras palavras, estes fatores combinados se tornam suficientes para a ocorrência de uma guerra civil, e a ausência de abundância do recurso natural é uma condição necessária para a ocorrência de guerra, uma vez que está presente nas duas possíveis combinações.

Em outro trabalho, intitulado "Why do conflicts over scarce renewable resources turn violent? A qualitative comparative analysis" (IDE, 2015), é defendido que a relação entre a escassez de recursos e as condições para paz e conflitos é muito complexa e que não é possível chegar a uma conclusão sem levar em consideração diferentes fatores. Em uma fuzzy-set QCA, foram estudados casos que tiveram conflito armado entre estados no período de 1980 e 1990, onde seis condições foram estabelecidas: 1- Qualidade das Instituições Políticas; 2- Corrupção Política; 3- Exclusão Étnica; 4- Pobreza; 5- Dependência da Agricultura; 6- Educação Terciária. Após serem atribuídos valores a estas, foi executada a calibração dos dados em software.

Dessa forma, o produto final é a presença ou não de conflitos. Com base neste resultado, é possível interpretar a ocorrência de conflitos como uma combinação de fatores, que são: baixo acesso dos habitantes à educação terciária (edu) associado a um alto nível de pobreza (POV) e dependência por agricultura (DEP), combinados com uma conjunção de alto nível de corrupção política (COR) ou baixa qualidade das instituições políticas (pin). Em contrapartida, os resultados para a não ocorrência de um conflito estão sujeitos a várias combinações de fatores.

No artigo Conditions for Peace and Conflict: Applying a Fuzzy-Set Qualitative Comparative Analysis to Cases of Resource Scarcity (BRETTHAUER, 2014), o autor estabelece uma relação entre a ocorrência de conflitos violentos e a escassez de recursos naturais renováveis. Novamente, a fsQCA foi adotada como metodologia, evidenciando a preferência de pesquisadores pela técnica para tratar de casos com um nível de complexidade maior. As seguintes condições foram estabelecidas: 1- tensão criada pela rivalidade entre grupos em condições de escassez de recursos (*Negative Othering*); 2- Medidas de poder entre os grupos (*High Power Differences*); 3- Conflitos causados devido a escassez

de recursos (*External Resource Appropriation*); 4- modificações nas características do sistema político ou da organização das leis ou políticas relacionadas à disputa por recursos renováveis podem gerar conflitos violentos.

O autor selecionou os casos de acordo com o critério de serem conflitos entre grupos e intraestatais por recursos naturais, além de que tivessem relevância e apresentassem uma fonte segura e confiável de informação. Com isso, observou-se como resultado que os conflitos violentos ocorrem quando há um alto nível de insegurança associado a uma baixa diferença de forças no poder, combinado com 1) uma presença de mudanças políticas ou 2) com altas apropriações externas (comercialização, intervenção do estado ou privatização).

5. Conclusão

A partir da relação intrínseca existente entre energia e desenvolvimento, neste trabalho foi discutida a questão da disputa de interesses gerada pelo acesso desigual às fontes energéticas. Exposta a situação conturbada entre nações produtoras e consumidoras, capaz de provocar intensos conflitos, foram exploradas algumas principais causas para esse cenário. Além disso, foi abordado o funcionamento da metodologia Análise Comparativa Qualitativa, que tem-se mostrado útil para realizar estudos na área de energia e geopolítica.

Tendo em vista as pesquisas citadas na última seção do trabalho, fica claro que a QCA apresenta diversas potencialidades e aplicações dentro do contexto descrito acima. A metodologia destaca-se pela eficiência em elencar de maneira objetiva a influência de possíveis causas para determinados fenômenos, que no caso, são os conflitos derivados da disputa energética. Por esse motivo, a Análise Comparativa Qualitativa pode ser de grande utilidade para a realização de estudos complementares, atendendo bem às expectativas em pesquisas futuras quanto a análises mais aprofundadas dos casos de outros países dentro do contexto da energia e geopolítica.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Referências

BASEDAU, M.; RICHTER, T.; Why do some oil exporters experience civil war but others do not?: investigating the conditional effects of oil. European Political Science Review, 6, pp 549-574 doi:10.1017/S1755773913000234, 2014

BP ENERGY. Statistical Review of World Energy globally consistent data on world energy markets and authoritative publications in the field of energy. BP Energy outlook 2021, v. 70, p. 8–20, 2021.

BRETTHAUER, J. M.; Conditions for Peace and Conflict: Applying a Fuzzy-Set Qualitative Comparative Analysis to Cases of Resource Scarcity. Journal of Conflict Resolution. Sage. 2014

BRITO, Thiago; SANTOS, Edmilson; ROUSSEAU, Isabelle; NAVA, Pablo. A dialética da segurança

energética e a interdependência das nações: reflexões focadas no papel do petróleo e na dimensão brasileira. In: MONIÉ, Frédéric; BINSZTOK, Jacob. Geografia e geopolítica do petróleo. Rio de Janeiro: Mauad, 2012. p. 15-52.

DIAS, Osório de Carvalho. Análise Qualitativa Comparativa (QCA) Usando Conjuntos Fuzzy – Uma Abordagem Inovadora Para Estudos Organizacionais no Brasil. In: ENCONTRO DA ANPAD, 35.. Rio de Janeiro. Setembro de 2011.

FREITAS, V. S; NETO, F. B.; Qualitative Comparative Analysis (QCA): usos e aplicações do método. Revista Política Hoje, Recife, 2^a edição – V. 24 - p. 103-117.

FUSER, Igor. Energia e Relações internacionais. Saraiva, 2013.

IDE, T. Why do conflicts over scarce renewable resources turn violent? A qualitative comparative analysis. Global Environmental Change. Elsevier Ltd. 2015

RAGIN, Charles. The comparative method: Moving beyond qualitative and quantitative strategies. Berkeley, Los Angeles and London: Univ. of California Press. 1987

RIHOUX, Benoît. MARX, Axel. QCA, 25 Years after The Comparative Method: Mapping, Challenges, and Innovations – Mini-Symposium. In: Political Research Quarterly. v. 66, n. 1, p. 167-235. 2013.

SOUZA, Cristiano Ricardo Siqueira de. O Brasil pegou a doença holandesa? 2009. Tese (Doutorado) - curso de Economia da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo.

THOMAZ, Laís Forti; MOREIRA, Bruna Bosi. Energia e Relações Internacionais. In: GALLO, Rodrigo. Relações Internacionais: temas contemporâneos. Boa Vista: Editora IOLE, 2021. p. 225-261.

Participação dos cientistas na COP 26

Participation of scientists at COP 26

Matheus Antonio Souza Ferreira¹

Hirdan Katarina De Medeiros Costa²

Thiago Luis Felipe Brito³

Suma: Agradecimentos. Resumo. 1. Introdução 2. Análise dos discursos dos cientistas 3. Conclusão. Bibliografia.

Resumo: Através do Acordo de Paris, os países concordaram em apresentar seus planos nacionais, mostrando o quanto reduzirão as emissões de gases de efeito estufa (GEE) por meio das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC) a cada cinco anos. Em 2021, ocorreu a 26ª Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP 26), principal cúpula da ONU, para debater sobre questões climáticas decorrentes das metas geradas na COP21. Nesse aspecto é importante analisar a participação dos cientistas na COP 26, sendo que os mesmos que geram os relatórios sobre as emissões de gases poluentes, além de apontarem os países que geram maior emissão, onde esses dados gerados pela pesquisa científica são utilizados para elaboração dos acordos internacionais sobre mudanças climáticas, como no Acordo de Paris e agora serão apresentados na atualização das metas de redução de emissão dos países na COP 26. Dentre os objetivos que a COP 26 visa obter nessa edição obtemos, a manutenção de 1.5 grau Celsius até 2030, buscando metas mais ambiciosas de redução da emissão de GHG nos países até 2030 e as NDCs alinhadas com redução de emissões líquidas em zero em meados do século. Nesse sentido, a COP 26 visa também, capacitar e incentivar os países afetados pela mudança climática a proteger e restaurar os ecossistemas afetados e também arrecadar no mínimo \$100bi em recursos para o clima a cada ano. Assim, o objetivo deste trabalho é averiguar as principais discussões e identificar os principais atores durante, juntamente da participação dos cientistas na elaboração dos acordos gerados na COP 26. Com isso, pretende-se colaborar com futuros trabalhos e análises sobre o tema.

Palavras-chave: COP 26; cientistas; acordos internacionais; mudanças climáticas.

Abstract: Through the Paris Agreement, the countries agreed to present their national plans, showing how much they have reduced greenhouse gas (GHG) emissions, the NDCs (National Determined Contributions), with the deadline for delivering these plans, every five years. In 2021, the 26th United Nations Conference on Climate Change (COP 26) will be the main UN summit to debate climate issues arising from the goals generated at COP21, with its update. In this aspect, it is essential to analyze the participation of scientists in COP 26, since they generate the reports on pollutant gas emissions, in addition to pointing out the countries that generate the highest emission, where these data generated by scientific research are used to prepare the international agreements on climate change, such as the Paris Agreement and will now be presented in the update of countries' emission reduction targets at COP 26. By 2030 and NDCs are aligned with net-zero emissions reduction by mi-

¹ Graduando em Gestão Ambiental, Universidade de São Paulo, matheus.asf.01@usp.br.

² Doutora em Ciências da Energia, Universidade de São Paulo, hirdan@usp.br

³ Doutor em Ciências da Energia, Universidade de São Paulo, thiagobrito@usp.br

d-century, pursuing more ambitious GHG emission reduction targets in countries. In this sense, COP 26 also aims to empower and encourage countries affected by climate change to protect and restore affected ecosystems and raise at least \$100bn in climate resources each year. Thus, this work aims to investigate the main discussions and identify the main actors during, together with the participation of scientists in the elaboration of the agreements generated at COP 26. This is intended to collaborate with future works and analyses on the subject.

Keywords: COP 26; scientists; international agreements; climate changes.

1. Introdução

A 26^a Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas ou Conferência das Partes (COP 26), ocorreu em Glasgow entre os dias 1º e 12 de novembro de 2021 e contou com a participação de mais de 190 líderes mundiais, entre países, empresas e público geral. Além dos novos acordos gerados durante a COP 26, houve também a atualização dos dados das Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDC), oriundos da Conferência de Paris (COP 21), onde foi acordado limitar o aquecimento global abaixo dos 2°C, visando 1,5°C. Dentre os objetivos da edição de 2021, foram apontados maior pressão para metas de redução das NDC nos países até 2030, mobilizar recursos financeiros, visando capacitar e incentivar os países afetados pela mudança climática a proteger e restaurar os ecossistemas afetados, onde as emissão zero líquida deve ser atingida em meados do século XXI (A-COP 26-EXPLICADA, 2021).

A participação dos cientistas ao prover informações e na elaboração dos acordos da COP é essencial, pois são eles quem participam da elaboração de relatórios sobre as mudanças climáticas, onde são apontados os países que mais poluem. Sendo assim, observa-se a criação de um conceito chamado diplomacia científica, definida como a atuação diplomática de cientistas, universidades, centros de pesquisa e outras instituições com o intuito de elaborar acordos e soluções com sustentação científica.

Dado este contexto, o objetivo deste trabalho foi averiguar a participação dos cientistas na elaboração dos acordos internacionais gerados na COP 26. Formou-se uma equipe de pesquisadores RCGILex (Centro de Pesquisa para Inovação em Gases de Efeito Estufa), que se reuniu para acompanhar diariamente a participação dos cientistas na COP 26. A equipe formada contou com 12 membros das mais variadas áreas tais como: gestão ambiental, relações internacionais, direito, jornalismo, economia, engenharia do petróleo, engenharia química e geologia. Este trabalho reporta os principais pontos observados durante a COP26 e tece comentários e sugestões acerca da participação dos cientistas.

2. Análise dos discursos dos cientistas

Essa seção descreve os principais pontos sobre a participação dos cientistas na COP 26. Informações mais detalhadas sobre cada dia foram registradas no blog do RCGILex (Centro de Pesquisa para Inovação em Gases de Efeito Estufa).

No dia 02/11/2021, foi publicado o primeiro post, sobre as oportunidades que o Brasil perdeu. A profa. Fernanda Delgado foi uma das cientistas que participou da COP 26 e se dedicou a realizar comunicações sobre os acontecimentos utilizando suas redes sociais. Delgado apresentou críticas sobre a posição do Brasil na conferência, uma vez que o país é fortemente pressionado devido à questão do desmatamento da Amazônia. Apontou que a nova meta de redução de GEE (de 43% a 50% até 2030) não impressionou o mercado e em energia, a nova meta (de 46% a 53% até 2030) não impressionou o mercado, porque seria algo orgânico, que viria naturalmente (COSTA, 2021).

Dado dia 03/11/2021, tivemos a notícia, que o coordenador do fórum brasileiro de clima pediu demissão. O professor e pesquisador Oswaldo Lucon, integrante do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), tem grande experiência no setor sobre mudanças climáticas, onde faz parte como assessor para Mudanças Climáticas do Gabinete da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Pediu demissão de seu cargo de coordenador-executivo do Fórum Brasileiro de Mudança do Clima enquanto ocorria o evento. Onde foi apontado o seu descontentamento em relação aos termos de interlocução e diálogo que deveria existir entre o Fórum, o governo e a sociedade. O Fórum foi criado pelo Decreto nº 3.515, de 20 de junho de 2000, revogado pelo Decreto nº 9.082, de 26 de junho de 2017 (FÓRUM, 2017), tem como objetivo conscientizar e mobilizar a sociedade e contribuir para a discussão das ações necessárias para enfrentar a mudança global do clima, conforme o disposto na Política Nacional sobre Mudança do Clima e na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima e nos acordos internacionais dela decorrentes, inclusive o Acordo de Paris e as Contribuições Nacionalmente Determinadas do Brasil. (COSTA, 2021).

No dia 4/11/2021, foi apontado a implementação de energia eólicas offshore nos mercados emergentes. Elbia Gannoum que é Diretora Executiva da ABEEólica – Associação Brasileira de Energia Eólica – Vice-presidente do Conselho na GWEC participou como debatedora no evento “Acelerando a implantação de energia eólica marítima em mercados emergentes”, realizado pelo Governo do Reino Unido. O Brasil possui grande potência na produção de energias renováveis, como a eólica, solar e as hidrelétricas, tendo preços competitivos, sendo de interesse do Reino Unido o investimento de energia eólica offshore em mercados emergentes. (FERREIRA, 2021).

Já no Dia 05/11/2021, obtivemos como apontamento o desmatamento e as queimadas na amazônia. A diretora de Ciência do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), Ane Alencar, e o professor do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, Paulo Artaxo, apontaram que 46% das emissões de gases de efeito estufa emitidos pelo Brasil estão relacionados a mudança do uso da terra, sendo em sua maior parte, ocasionado pelo desmatamento da floresta tropical. O desmatamento já demonstra uma alta em 2021 quando comparado com 2020, o pesquisador declarou também que a floresta está perdendo o seu potencial de absorção de carbono em relação ao que possuía em 30 anos atrás devido às mudanças climáticas ocasionadas, principalmente, pelo uso de combustíveis fósseis. (SACCO, 2021).

No dia 06/11/2021 foi apontado como um dos temas de discussão a questão da COP 26, em relação à segurança alimentar, o panorama atual e as projeções para o futuro. O Dr. Eduardo Assad é formado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa. Fez Mestrado e Doutorado em manejo e ciências da água, depto de Hidrologia e matemática da Universidade de Montpellier, França

Em seus apontamentos, ressaltou a importância de um planejamento governamental transparente e objetivo para que seja possível o alcance das metas de mudança climática. A mudança de uso do solo e as emissões de metano foram indicadas como relevantes emissores de gases de efeito estufa, nesse contexto, o Brasil precisa acabar com o desmatamento e direcionar tecnologias e ajustes do sistema de produção agrícola para resolver as emissões de metano. No mesmo sentido, o financiamento público adequado é fundamental para cumprir as metas planejadas, direcionado especialmente os recursos públicos para atividades ambientalmente favoráveis. (LEMOS; EMANOEL, 2021).

Existe uma necessidade, de revisão ambiental das propriedades agrícolas, fundamental para restabelecer os serviços ecossistêmicos, em especial a água, como forma de manter os recursos naturais necessários para a própria agricultura. Onde é preciso repensar a produção agrícola no Brasil como forma de garantir a segurança alimentar e a distribuição de alimentos, para que seja possível

equilibrar a produção consumida internamente, os estoques reguladores e a produção voltada à exportação (LEMOS; EMANOEL, 2021).

Sendo então, um dos temas levantados pelo pesquisador Dr. Eduardo Assad, a problematização da produção agrícola, em relação às mudanças climáticas e a segurança alimentar que é necessária para o desenvolvimento do país.

No dia 08/11/2021, foram apontados o uso das ferramentas digitais brasileiras com foco nas NDCs. David Tsai, coordenador de projetos do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) e colaborador do projeto 28 do RCGI, explicou que “o SEEG nasceu da falta de ferramentas de fácil acesso a estimativas de emissões de GEE”. Tasso ressalta que o MAPBIOMAS é uma ferramenta única no mundo com selo brasileiro. A ferramenta permite fazer comparações espaciais e temporais que ajudam a determinar claramente se as metas estão sendo cumpridas. Simulador Nacional de Políticas Setoriais e Emissões (Emission Policy Simulator – EPS Brasil), foi apresentado pela Caroline Rocha. (SAN MARTÍN CAÑAS, 2021).

Sendo o uso de ferramentas digitais para monitoramento de mudanças climáticas no país de grande importância, para que seja possível o cumprimento das NDCs. Assim, os pesquisadores têm um grande papel no desenvolvimento e aplicação dessas ferramentas no Brasil.

No dia 09/11/2021, foram apontados a transição energética justa e equidade de gênero. Dinda Yura, representante da Indonésia, comentou que o sistema que criou e sofre as consequências das mudanças climáticas é o mesmo sistema que sustenta as desigualdades sociais e de gênero. Dunja Krause, pesquisadora alemã do Instituto de pesquisa pelo desenvolvimento social da ONU, aponta: As mulheres acumularam ainda mais as funções de cuidados com a casa e família e vivenciaram um aumento da violência doméstica em muitos países. É preciso pensar em inclusão social e equidade de gênero em todos as etapas das novas cadeias produtivas e, ainda mais, em políticas públicas que atuem na superação das injustiças sociais e no evidente agravamento dessas em um contexto de crise econômica, social, ambiental e climática (PETRY e CIOTTA, 2021).

No dia 10/11/2021, foi considerado o dia do transporte, em Glasgow. Os principais debates do dia centraram-se no tema da transição de veículos com emissão zero e da criação de corredores de navegação verdes. 30 países concordaram em trabalhar juntos para tornar os veículos com emissão zero o novo paradigma do setor de transportes até 2030 ou antes, incluindo mercados emergentes, ocorreu também, um lançamento de um novo fundo fiduciário do Banco Mundial que prevê o investimento de US\$ 200 milhões nos próximos 10 anos, destinado à descarbonização do transporte rodoviário em países em desenvolvimento (JÚNIOR, 2021).

O pesquisador do Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) David Tsai, aponta que o Brasil necessita de uma política nacional de qualidade do ar, uma vez que vivencia um significativo desequilíbrio qualitativo (JÚNIOR, 2021).

No dia 11/11/2021, foi demonstrado por meio de cientistas da Universidade South West, a importância da academia no avanço da sustentabilidade urbana. Na Irlanda do Norte, o novo campus da Universidade South West, denominado Erne Campus, foi construído a partir dos conceitos de *passive house*, tendo como foco design sustentável e eficiência energética. Segundo o Dr. Barry McCarron, pesquisador e chefe da área de desenvolvimento de negócios na Universidade South West, o setor de construção responde por cerca de 40% das emissões de gases de efeito estufa, os ganhos em eficiência energética representam uma economia anual de 88% e, ao longo de 25 anos, estima-se que serão economizados mais de 1 milhão de euros. A Dra. Danielle McKelvey, chefe do departamento de construção ambiental, apontou que o exemplo do Erne Campus demonstra que a área de construção civil consegue se adaptar quando é necessário (SILVEIRA, 2021).

No último da Conferência das Partes (COP 26), 12/11/2021 a profa. Fernanda Delgado faz alguns apontamentos em seu perfil do instagram. Ela aponta dois pontos: primeiro, o fato de haver previsão, ainda que em uma linguagem suave, que indica o fim dos subsídios aos combustíveis fósseis. O segundo ponto se refere à indicação da necessidade de aumento da contribuição financeira para custear as ações relacionadas à redução das emissões em países pobres e em desenvolvimento. Falta de comprometimento de países considerados grandes emissores de Gases do Efeito Estufa, como Estados Unidos, China e Índia (SILVA, 2021).

3. Conclusão

Sendo assim, por meio da análise da participação de cientistas na elaboração de acordos sobre mudança climática na 26ª Conferência das Nações Unidas do clima, temos alguns pontos destacados pelos cientistas. Houve uma maior pressão social ligado a justiça climática, nas pautas, tendo em vista que as desigualdades sociais fazem com que as mudanças climáticas sejam atingidas entre as pessoas de maneiras diferentes, nas classes sociais, onde pessoas de maior vulnerabilidade social, são mais atingidas não só pela mudança climática, mas por crimes ambientais que geram catástrofes. Assim, é notado o motivo de um dos objetivos da COP 26, ser o de mobilizar recursos financeiros, visando capacitar e incentivar os países afetados pela mudança climática a proteger e restaurar os ecossistemas afetados, sendo países em desenvolvimento os principais destinos, caso os recursos financeiros sejam arrecadados.

Nesse contexto, temos também uma pressão no cumprimento das metas sobre mudanças climáticas, haja vista o cenário extremamente negativo em um futuro próximo caso não ocorra o cumprimento das metas. É observado também uma grande pressão social nesta edição, juntamente dos próprios cientistas, e os próprios países receberam críticas por não intensificação do cumprimento das metas. Nesse mesmo sentido, sobre pressão, o Brasil se demonstra com um quadro pessimista, em relação às mudanças climáticas, tendo um cenário negativo comparado a outros países, pressão que é demonstrada nas queimadas da Amazônia, Pantanal, com o garimpo ilegal, pecuária extensiva, entre outras atividades que colocaram o Brasil com uma imagem negativa na COP 26.

Assim, dos cientistas que tiveram sua participação analisada, é notado uma grande diversidade de assuntos debatidos no evento, onde foram apontados diversos aspectos que as mudanças climáticas atingem na sociedade, e até mesmo como ela atinge de maneira desigual. Temas como, desigualdade de gênero, justiça climática, energias renováveis em mercados emergentes e a relação dos transportes e construção mais sustentável também foram apontados.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Bibliografia

- A-COP 26-EXPLICADA. [S. I.], 2021. Disponível em: file:///C:/Users/Expert/Documents/A-COP26-Explícada.pdf. Acesso em: 1 fev. 2022.
- SAN MARTÍN CAÑAS, Stephanie. **Ferramentas digitais brasileiras com foco nas NDCs são destaque no início da segunda semana da COP26**. [S. I.], 8 nov. 2021. Disponível em: <http://wp.rcgilex.com.br/ferramentas-digitais-brasileiras-com-foco-nas-ndcs-sao-destaque-no-inicio-da-segunda-semana-da-cop26/>. Acesso em: 1 fev. 2022.
- COSTA, Hirdan. **Brasil perde oportunidade na COP 26**. [S. I.], 3 nov. 2021. Disponível em: <http://wp.rcgilex.com.br/brasil-perde-oportunidade-na-cop26/>. Acesso em: 1 fev. 2022.
- COSTA, Hirdan. **Coordenador do Fórum Brasileiro de Mudança do Clima pede demissão**. [S. I.], 4 nov. 2021. Disponível em: <http://wp.rcgilex.com.br/coordenador-do-forum-brasileiro-de-mudanca-do-clima-pede-demissao/>. Acesso em: 1 fev. 2022.
- FÓRUM. **Decreto nº 3515, de 20 de junho de 2000**. Revogado pelo Decreto nº 9.082, de 26 de junho de 2017. [S. I.], 26 jun. 2017.
- FERREIRA, Matheus. **Implantação de energia eólica em mercados emergentes**. [S. I.], 4 nov. 2021. Disponível em: <http://wp.rcgilex.com.br/implantacao-de-energia-eolica-em-mercados-emergentes/>. Acesso em: 1 fev. 2022.
- JÚNIOR, Evilásio. **A quarta-feira foi considerada o dia do transporte, em Glasgow**. [S. I.], 10 nov. 2021. Disponível em: <http://wp.rcgilex.com.br/a-quarta-feira-foi-considerada-o-dia-do-transporte-em-glasgow/>. Acesso em: 1 fev. 2022.
- LEMOS , Geraldo; EMANOEL, Vitor. **No âmbito das discussões sobre a COP 26, a Rede Clima entrevistou o Dr. Eduardo Delgado Assad sobre o tema "COP 26 e segurança alimentar: panorama atual e projeções para o futuro"**. [S. I.], 6 nov. 2021. Disponível em: <http://wp.rcgilex.com.br/no-ambito-das-discussoes-sobre-a-cop26-a-rede-clima-entrevistou-o-dr-eduardo-delgado-assad-sobre-o-tema-cop26-e-seguranca-alimentar-panorama-atual-e-projcoes-para-o-futuro/>. Acesso em: 1 fev. 2022.
- PETRY, Paola; CIOTTA, Mariana. **Transição energética justa e equidade de gênero são temas de discussão na COP 26**. [S. I.], 9 nov. 2021. Disponível em: <http://wp.rcgilex.com.br/transicao-energetica-justa-e-equidade-de-genero-sao-temas-de-discussao-na-cop26/>. Acesso em: 1 fev. 2022.
- SACCO, Rafael. **Desmatamento e queimadas na Amazônia foi um dos temas da COP 26**. [S. I.], 5 nov. 2021. Disponível em: <http://wp.rcgilex.com.br/desmatamento-e-queimadas-na-amazonia-foi-um-dos-temas-da-cop-26/>. Acesso em: 1 fev. 2022.
- SILVA, Isabela. **Chegado o último dia da Conferência das Partes (COP 26), a profa. Fernanda Delgado (FGV Energia), que está em Glasgow participando do evento, comentou em seu perfil do Instagram sobre o rascunho do relatório final da conferência que está circulando**. [S. I.], 12 nov. 2021. Disponível em: <http://wp.rcgilex.com.br/chegado-o-ultimo-dia-da-conferencia-das-partes-cop-26-a-profa-fernanda-delgado-fgv-energia-que-esta-em-glasgow-participando-do-evento-comentou-em-seu-perfil-do-instagram-sobre-o-rascunho-do-re/>. Acesso em: 1 fev. 2022.
- SILVEIRA, Brenda. **Erne Campus: cientistas da Universidade South West demonstram a importância da academia no avanço da sustentabilidade urbana**. [S. I.], 11 nov. 2021. Disponível em: <http://wp.rcgilex.com.br/erne-campus-cientistas-da-universidade-south-west-demonstram-a-importancia-da-academia-no-avanco-da-sustentabilidade-urbana/>. Acesso em: 1 fev. 2022.

Utilização de biomassa para a produção de Bioenergia e Captura e Armazenamento de Carbono no Brasil : uma análise da viabilidade e eficiência

Use of Biomass for Bioenergy Production and Carbon Capture and Storage in Brazil: a feasibility and efficiency analysis

Pamela Ramos Rocha Dos Santos¹

Hirdan Katarina De Medeiros Costa²

Brenda Mazzeu Silveira³

Edmilson Moutinho Dos Santos⁴

Sumário: 1. Introdução. 2. Acordo de Paris como um símbolo de esperança. 3. Tecnologias de Emissões Negativas (NETS). 3.1. BECCS - Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono. 4. Brasil : NDCs e real comprometimento em relação às metas traçadas e sistema BECCS. 5. Considerações finais. Agradecimentos. Bibliografia.

Resumo: As mudanças climáticas, ao longo dos anos, passaram a ser preocupação de diversas esferas das sociedades contemporâneas devido ao fato de acarretarem em expressivos impactos tanto nos ecossistemas, modificando biomas e auxiliando na perda de biodiversidade e em mudanças na intangibilidade terrestre, quanto nos meios ocupados por seres humanos. O Acordo de Paris, assim como seus antecessores, assumiu um importante papel de servir como elo entre 195 países a fim de estimular o desenvolvimento e cumprimento de metas voluntariamente estabelecidas com o intuito de promulgar, a cada cinco anos, relatórios que representem as metas cumpridas ou em andamento. Seu principal objetivo é propulsionar a transição energética e impulsionar políticas destinadas a economias de baixo carbono, diminuindo assim o uso de combustíveis fósseis e energias não renováveis. Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono (BECCS) é uma tecnologia de emissão negativa de extrema importância devido ao fato de contribuir com as metas de redução de temperatura estabelecidas no Acordo de Paris, possibilitando, a longo prazo, emissões negativas de GEE e com o diferencial de promover o suprimento de energia neutra e de baixo custo. O Brasil possui grande potencial de utilização da tecnologia BECCS devido ao fato de possuir grande diversidade no que tange à produção de biomassa e a já consolidada indústria de etanol. O presente trabalho tem por finalidade discorrer sobre as tecnologias de emissões negativas (NETs) e de forma mais específica em relação a tecnologia BECCS, pontuando incertezas, possíveis cenários e viabilidade e, por fim, expõe a viabilidade da tecnologia no Brasil e o real comprometimento brasileiro em cumprir as metas propostas.

Palavras-chave: Acordo de Paris;NDCs;gases de efeito estufa;BECCS.

Abstract: Over the years, climate change has become a concern of several spheres of contemporary societies because it has significant impacts on ecosystems, modifying biomes and assisting in the loss of biodiversity and changes in terrestrial intangibility and the environments occupied by human beings. The Paris Agreement, like its predecessors, assumed an essential role of serving as a link between 195 countries in order to stimulate the development and fulfillment of voluntarily established goals to promulgate, every five years, reports that represent the goals achieved or in progress. Its main objective is to drive the energy transition and open doors to low-carbon economies, thus reducing the

use of fossil fuels and non-renewable energies. Bioenergy with Carbon Capture and Storage is a crucial negative emission technology since it contributes to the temperature reduction targets established in the Paris Agreement, enabling, in the long term, negative GHG emissions and with the differential of promoting neutral and low-cost energy supply. Brazil has excellent potential for BECCS technology because it has great diversity in biomass production and the already consolidated ethanol industry. The present work dialogues with the evolution of the energy search as a way of survival for primitive man, until the present moment, in which renewable energies have become the leading world energy matrices. It permeates the Paris Agreement, its objectives, the binding and non-binding nature of NDCs, and their differentiated responsibilities and implementation. It passes through the NETs and, more specifically concerning the BECCS technology, points out uncertainties, possible scenarios, and feasibility and, by the way, exposes the feasibility of the technology in Brazil and the real Brazilian commitment to fulfill the proposed goals.

Keywords: Paris Agreement;NDCs;greenhouse gases;BECCS.

1. Introdução

O objetivo do presente artigo é determinar o potencial de mitigação da tecnologia BECCS, assim como seu desenvolvimento e viabilidade, além de entender como a bioenergia com captura e armazenamento de carbono pode conquistar um maior espaço no Brasil e se as normas brasileiras corroboram com as metas propostas no acordo de Paris.

Isso posto, há a necessidade de mudança no que tange a matriz energética, já que a matriz fóssil contribuiu para o aumento exponencial das emissões de dióxido de carbono para a atmosfera. Esse aumento foi de 280 ppm(partes por milhão) no período pré-industrial e industrial, para 410 ppm(partes por milhão) na era pós-moderna. Como consequência, tornou-se o nível de concentração mais alto em milhões de anos da existência terrestre e resultou em um grave desbalanço energético. Além disso, a matriz energética fóssil danifica o meio ambiente ao longo de sua cadeia produtiva, desde o momento de extração até sua respectiva distribuição, causando destruição da biodiversidade e desequilíbrio dos ecossistemas.

Em contraponto à matriz fóssil, o Brasil possui um alto potencial de produção de bioenergia, principalmente devido às usinas de etanol lignocelulósico. Sendo assim, há uma grande capacidade de investimento em um sistema de Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono (BECCS) cujo objetivo é produzir biocombustível, capturar e armazenar o gás carbônico que seria liberado para a atmosfera.

Consequentemente, devido ao atual cenário de alterações climáticas, faz-se necessário que haja a implementação de políticas públicas a fim de aumentar a indústria bioenergética brasileira, acarretando a diminuição do uso de matrizes energéticas relacionadas a combustíveis fósseis, já que o setor bioenergético possui a capacidade de contribuir para a diminuição das emissões de GEE.

2. Acordo de Paris como um símbolo de esperança

O Acordo de Paris, que ocorreu em 2015, tratou de forma mais realista as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e seus impactos no agravamento das mudanças climáticas, cujos efeitos se tornam cada vez mais evidentes (PEIXER, 2019). Dessa forma, passou a ser considerado como o terceiro estágio do plano das Nações Unidas contra as mudanças climáticas.

As metas e propostas do acordo passaram a ser formuladas entre 2005 e 2009 devido à pressão de agentes externos e de países em desenvolvimento, pois era imprescindível dar continuação

ao antigo Tratado de Quioto. No entanto, era importante que esse acordo fosse construído de uma forma mais global, a fim de alavancar a participação de grandes potências que não colaboraram com o Tratado de Quioto, como Estados Unidos e China (PEIXER,2019). Dessa forma, o governo francês prezou por uma abordagem multilateral e inclusiva, cujo resultado foi a reunião de 195 países em uma proposta de descarbonização e transição energética (PEIXER,2019).

Dessarte, a organização francesa trouxe uma visão mais holística em relação ao tratado, a fim de assumir uma postura mais flexível e não dicotômica em relação aos papéis designados e assumidos entre nações desenvolvidas e em desenvolvimento (PEIXER,2019). Dessa maneira, expôs o fato de todos os países possuírem a incumbência de desempenhar ações para a mitigação das mudanças climáticas e, em outra instância, adaptabilidade climática (BODANSKY, 2016).

Em resumo, o Acordo de Paris tem por principal objetivo diminuir as emissões de gases potencializadores do efeito estufa a fim de limitar o aumento da temperatura global média a um aumento 2 °C em relação a níveis pré-industriais, levando em consideração as necessidades energéticas das nações em maior estado de vulnerabilidade (BODANSKY,2016). Dessa forma, segundo Souza et al. (2017), a resolução ratifica os propósitos firmados pelo Painel Científico Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) em relação a ações de mitigação das mudanças climáticas.

Para sua conclusão, o acordo passa por diversas fases e todas elas culminam na redução e substituição de combustíveis fósseis (PEIXER,2019).

Como citado anteriormente, o acordo preza pela flexibilidade, autonomia e parceria e, sendo assim, todos os 195 países participantes do acordo tiveram por incumbência elaborar e apresentar, de forma voluntária, suas Contribuições Nacionais Determinadas ou NDC. Todavia, as NDCs apresentadas, sem planos de ações reais, podem não ser suficientes para emparelhar as metas de redução propostas (PEIXER,2019). Porém, o acordo é extremamente necessário e ambicioso e necessitará da cooperação dos 195 países signatários, pois há a necessidade de realizar medidas integrativas, políticas públicas e tecnologias a fim de alcançar a neutralidade total do carbono (SALVAREI,2016).

Segundo Bodansky (2016), o Acordo de Paris foi considerado promissor devido ao fato de quebrar os paradigmas que foram instaurados no Protocolo de Quioto e não pelo fato de possuir ideias e ações inovadoras. Como resultado do seu cunho global e holístico, Bodansky (2016) argumenta que o acordo será um grande catalisador para possíveis mudanças.

3. Tecnologias de Emissões Negativas (NETs)

Segundo Pour (2018), sem ações mitigatórias em relação a emissão de gases de efeito estufa antropogênicos, a concentração de dióxido de carbono na atmosfera terrestre atingiria altíssimos níveis de concentração (entre 750 a 1300 ppm em 2100). Dessa forma, haveria mudanças no que tange ao ciclo hidrológico terrestre, desertificações, savanizações, perda de biodiversidade, aumento do nível do mar entre outras catástrofes.

Isso posto, com as metas de redução de uso de combustíveis fósseis e descarbonização propostas pelas NDCs das nações participantes do Acordo de Paris, a deliberação mais assertiva em relação a um leque de ações mitigadoras (a longo prazo) foi em relação ao aumento do uso de bioenergia e eficiência energética e, dessa forma, as tecnologias de emissões negativas ganharam destaque (POUR,2018).

Logo, Tecnologias de Emissões Negativas (NETs) ou Tecnologia de Redução de Gases de Efeito Estufa possuem a capacidade de sequestrar o dióxido de carbono equivalente da atmosfera, levando assim, a uma emissão negativa. Porém, há diversas tecnologias que promovem o mesmo benefício e que possuem processos diferentes (POUR,2018). Entre as diversas tecnologias, quatro

delas necessitam de destaque: a Captura Direta de Ar com Armazenamento de Carbono que tem por objetivo capturar o carbono diretamente do ambiente por intermédio de dois processos que sequestram o carbono por meio de aminas e o estocam em reservatórios geológicos (POUR,2018); a tecnologia BioChar que tem por escopo fixar o carbono orgânico (C) através da queima de biomassa em um ambiente anaeróbico (POUR,2018); o Intemperismo Aprimorado de Minerais, que possui por ação a adição de silicato no solo para que ocorra um processo natural de carbonatação, acarretando na absorção do carbono atmosférico (POUR,2018).

Por fim, a Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono (BECCS) representa uma associação de tecnologias que possuem a capacidade de capturar e armazenar o carbono atmosférico devido à produção de bioenergia através de biomassas e através da fotossíntese das mesmas (POUR,2018).

Segundo Gasser et.al (2015), para que a meta traçada no Acordo de Paris seja alcançada, há a necessidade de que ocorra o planejamento de medidas de prevenção e remoção de carbono. Porém, a descarbonização do sistema, se feita de maneira incorreta, poderá levar a falhas e inéncias do mercado energético mundial. Sendo assim, as NET's são promissoras em relação a planos de mitigação, pois segundo Obersteiner et al. (2018), possuem a capacidade de remoção do dióxido de carbono presente na atmosfera além de contribuírem para um sistema mais sustentável e seguro, sendo BECCS a tecnologia mais considerada devido ao seu grande potencial de captura e estocagem de carbono.

3.1. BECCS - Bioenergia com Captura e Armazenamento de Carbono

Segundo o Global CCS Institute (2021), BECCS faz parte de um grupo de diversas outras tecnologias que possuem por premissa atuar na captura e armazenamento de carbono atmosférico e depositá-lo em reservatórios geológicos. Isso posto, o sistema utiliza-se da biomassa como fonte de energia, utilizando-se de dois métodos a serem definidos em relação à utilização da matéria orgânica, sendo eles a combustão e a conversão.

De acordo com Dowell e Fajardy (2017), a combustão é recomendada quando utiliza-se a biomassa como produção de calor, como em indústrias e na geração de eletricidade. Nesse método, o carbono é sequestrado através do fluxo de gás produzido na combustão da matéria orgânica.

O segundo método consiste na conversão da biomassa em energia através de fermentação ou digestão e tendo por produtos finais biocombustíveis e gases. Nesse contexto, destacam-se o bioetanol de segunda geração e lignocelulósico (DOWELL E FAJARDY,2017).

Isso posto, a bioenergia é considerada uma fonte neutra em carbono, pois o que seria posteriormente liberado para atmosfera durante o processo de conversão da biomassa em energia foi previamente capturado durante o processo fotossintético realizado pela vegetação (POUR,2018). Dessa forma, há a ocorrência de um fluxo descendente e negativo de CO₂ entre a atmosfera e o subsolo, no qual encontram-se os reservatórios geológicos. Consequentemente, o sistema BECCS, de acordo com Anderson e Peters (2016), é uma das Tecnologias de Emissões negativas mais incluída em Modelos de Avaliações Integrados (IAMs), pois oferece tanto emissões negativas de carbono quanto energia considerada ecologicamente neutra, além do fato do sistema ofertar, de forma estimada, 170 EJ/ano em 2100, segundo Smith et al. (2015).

Em relação ao potencial de entregar emissões negativas, de acordo com Kemper (2015), há variação entre 1000 EJ/ano a 100 EJ/ano e ao que tange à capacidade de remoção de CO₂, prevê-se a captura entre 0-20 Gt CO₂/ano. Todavia, em Modelos de Avaliações Integrados o sistema BECCS é classificado por ter um potencial de captura entre 2–10 Gt CO₂/ano segundo Fuss et al. (2014).

Dessarte, segundo Ricci e Selose (2016), o sistema BECCS poderia suprir cerca de 23% a 30%

do abastecimento energético global e, o que corresponde a aproximadamente 5,7–7,6 Gt de dióxido de carbono sequestrado e acondicionado. Todavia, a projeção de fornecimento utilizou China, Brasil e Índia como principais potências a possuírem tal capacidade. Ademais, esses países apresentam competências técnicas devido ao fato de dispor de grandes quantidades de biomassa e de diversos reservatórios geológicos (LAKO,2015).

Não obstante, o mercado bioelétrico não ocupa uma parcela relevante do setor energético mundial, alcançando apenas 2,3% do total (INTERNATIONAL ENERGY STATISTICS, 2018). Esse contexto se dá principalmente em virtude da limitação em relação à biomassa adequada e aos altos custos de implementação de usinas e transporte (LAKO,2015).

Conforme Gough e Upham (2011), a biomassa utilizada como fonte de energia deriva-se de diversos setores presentes nas sociedades contemporâneas, sendo eles: indústria, agrofloresta (resíduos florestais), culturas energéticas, agricultura e pecuária e resíduos biodegradáveis em geral. Sendo assim, de forma geral, a biomassa possui um alto potencial de produção de energia, sendo considerada promissora no que tange ao abastecimento mundial. Porém, ainda é um setor que apresenta diversas incertezas em relação a implicações ambientais, devido a produção em larga escala, à sustentabilidade do sistema e cadeia produtiva, além de questões políticas, econômicas, sociais e técnicas.

4. Brasil : NDCs e real comprometimento em relação às metas traçadas e sistema BECCS

Em novembro de 2015 o Brasil apresentou suas NDCs no Acordo de Paris, que tinham por objetivo principal a atenuação das emissões de gases de efeito estufa em 37% em relação às emissões históricas de 2005, até 2025, e em reduzir, de maneira mais significativa, as emissões de gases de efeitos estufa em 43% em relação às emissões de 2005, até 2030(UNFCCC,“s.d”).

Ademais, a fim de cumprir as metas estabelecidas, houve o compromisso de aumentar a participação da bioenergia na matriz energética brasileira em cerca de 18% em meados de 2030, além da redução de desmatamento e comprometimento com reflorestamento e restauração de aproximadamente 12 milhões de hectares de florestas. Esses compromissos foram pensados para auxiliar no objetivo de redução da emissão de GEE e com o intuito de alterar a matriz energética, dando destaque à utilização de energias renováveis, alcançando 45% em relação à participação total (MME, “s.d”).

Segundo o UNFCCC (“s.d”) e o MME (“s.d”), as metas deliberadas são consideradas ambiciosas. Em contrapartida, Speranza, Romeiro, Betiol e Biderman (2017) argumentam que não houve clareza em relação aos intentos, visto que atualmente 44% da matriz energética brasileira é composta por energias renováveis, tendo por principais fontes a energia hidrelétrica e bioenergia.

Em relação ao compromisso firmado sobre a redução do desmatamento ilegal, principalmente no que tange a Amazônia, não houve avanços positivos. De acordo com o Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (2020), desde o compromisso firmado em 2015, foi registrado o aumento de aproximadamente 10% nas emissões de CO₂, sendo a agropecuária a maior emissora de GEE, responsável por 73% das emissões, devido a Mudanças e Uso do Solo.

No que se refere à Indústria, Transporte, e Agropecuária, as metas são extremamente vagas, apesar de contribuírem enormemente para emissão de gases de efeitos estufa na atmosfera(WRI BRASIL,2020). . Esses três setores fazem uso de grande parcela de combustíveis fósseis e por não possuírem metas e objetivos práticos em relação à descarbonização dos setores, os compromissos firmados tornam-se difíceis de serem cumpridos (VIOLA E BASSO,2015).

Consequentemente, com o desmonte das políticas ambientais brasileiras, as metas consolidadas através das NDCs não são o suficiente para certificar uma participação eficiente para a redução de emissão de GEE. Esse argumento vai de encontro ao apresentado no 3º Inventário de Emissões

Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo (2017), o qual afirma que as projeções brasileiras em relação a emissão de GEE não vão mais ao encontro das NDCs.

Todavia, devido ao fato do Brasil possuir grande potencial para produção de bioenergia (FAZZI et al.,2020), diversos programas relacionados principalmente à produção de etanol foram criados, entre eles o PROÁLCOOL (1975), que teve por objetivo diminuir a dependência em relação ao petróleo estrangeiro,aumentar a auto-suficiência e reduzir o déficit em relação à balança comercial (BENITES-LAZARO;MELLO-THÉRY; LAHSEN,2017).

Nessa mesma linha, em 2005 houve a criação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), que teve por objetivo integrar os escopos criados pelo PROÁLCOOL, porém focando no abastecimento de biodiesel e incorporando aspectos sociais que não foram considerados em 1975 (STATTMAN,HOSPES,MOL,2013).

Ainda, a fim de desenvolver o mercado brasileiro de bioenergia e corroborar com as metas compartilhadas no Acordo de Paris (2015), em 2017 houve a criação do Programa RenovaBio, que configura-se por ser uma Política Nacional de Biocombustíveis, instituída pela Lei nº 13.576/2017. Esse programa tem por objetivo expandir a matriz bioenergética brasileira e assegurar o mercado de combustíveis, aumentando a eficiência energética e auxiliando na diminuição de emissões de gases potencializadores do efeito estufa (MME, "s.d"). Esses objetivos são regidos pelo estabelecimento de metas anuais de descarbonização alinhadas à construção de um comércio de créditos de carbono a fim de impulsionar a produção de biocombustíveis(MME,"s.d") .

De acordo com o Ministério de Minas e Energia ("s.d"), o RenovaBio utiliza-se de dois instrumentos principais a fim de evidenciar a competência que os biocombustíveis possuem no que diz respeito à redução das emissões de gases de efeito estufa. Esses mecanismos são a certificação da produção dos biocombustíveis e o estabelecimento de metas nacionais de redução das emissões, através dos quais ocorreu a criação do CBio.

Segundo a Portaria número 419 de 20/11/2019 decretada pelo Ministério de Minas e Energia, o CBio ou Crédito de Descarbonização é uma ferramenta do Programa RenovaBio com objetivo de facilitar a descarbonização. Dessa forma, os créditos possuem o intuito de auxiliar empresas e produtores na redução da emissão de GEE propiciando compensação financeira. Isso posto, o CBio comporta-se como um ativo no qual cada crédito representa uma tonelada de dióxido de carbono evadido.

Em 20 de abril de 2021, devido ao sucesso do RenovaBio e do CBio instituiu-se o Programa Combustível do Futuro através do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) mediante Resolução CNPE número 07. Os objetivos desse programa são alastrar a utilização de biocombustíveis de baixa densidade de carbono, auxiliar na melhoria de suas qualidades, analisar todo o ciclo de vida dos biocombustíveis, além estipular condições para o uso de Tecnologias de Emissões Negativas, como a Captura e Armazenamento de Carbono.

Dessarte, o RenovaBio procura investir em tecnologias que proporcionem baixa emissão de dióxido de carbono para a atmosfera, expandindo assim, o mercado de biocombustíveis de segunda geração ou lignocelulósico (MME, "s.d"). Porém, o programa passou a operar apenas dois anos após seu lançamento, enquanto os créditos de carbono passaram a valer apenas em meados de 2020, devido a variáveis macroeconômicas e ao efeito da COVID-19 na economia mundial (GRANGEIA E SANTOS,2020).

Não obstante, apesar de todos os entraves relacionados ao RenovaBio e seus programas derivados, segundo Subramaniam e Masron(2021), a produção de etanol de segunda geração a partir da cana-de-açúcar teria a capacidade de reduzir cerca de 60 a 90% das emissões de CO₂ no que diz respeito ao setor de transporte e indústria, enquanto o biodiesel reduziria as emissões em até 35%.

Em relação a Bioenergia e Captura e Armazenamento de Carbono, o Brasil possui grande capacidade de produzir biocombustíveis e bioeletricidade através da utilização de bagaço de cana proveniente da indústria e agropecuária. No entanto, segundo o IEA (2012), o setor sofre retrocesso devido às diversas barreiras impostas a ele, além do fato de que apenas 17,4% do bagaço de cana é utilizado para a geração de energia (MME/EPE, " s.d").

Logo, os sistemas BECCS e CCS, apesar de serem grandes apostas no que tange ao cenário de 2oC não possuem força no mercado energético brasileiro (LAMPREIA et al.,2011). Dessa forma, ainda são considerados tecnologias “dormentes”. Contudo, em relação ao CCS, a Petrobras desde 2009 utiliza-se do sistema para armazenar carbono proveniente do Pré-Sal, alcançando em 2017 a captura de aproximadamente 7 MtCO₂ (GLOBAL CCS INSTITUTE,2018).

Assim sendo, através do estudo de Moreira et al.(2016) que teve por objetivo analisar o potencial brasileiro em relação a Bioenergia e Captura e Armazenamento de carbono tanto em relação à redução da emissão de GEE quanto ao custo de implementação e lucro, chegou-se à conclusão de que o dióxido de carbono poderia ser capturado duas vezes durante a cadeia produtiva do etanol, na fase de fermentação do bagaço e na fase de produção de eletricidade. Já em relação aos custos de implementação, haveria o incremento de apenas 3,5% em relação ao preço de implementação de usinas comuns de produção de etanol, enquanto o custo repassado ao consumidor seria de menos 1% do valor total.

5. Considerações finais

Conclui-se que há grande necessidade de atingir a descarbonização nas sociedades de maneira geral, devido aos possíveis entraves sociais, ambientais e econômicos que poderão ocorrer se mudanças estruturais nas sociedades contemporâneas não acontecerem. Dessa forma, a tecnologia BECCS possui grande potencial de mitigação à longo prazo, podendo desempenhar um papel extremamente importante no que tange a atingir economias de baixo carbono a custos efetivos, pois detêm capacidade de diminuir o preço do carbono e a taxa de perda do PIB. Porém necessita de aceitação tanto dos governos quanto da sociedade civil, de investimentos e principalmente de implementação correta. Isso posto, pode haver estranheza em relação à tecnologia justamente por externar resultados a longo prazo, além do desconhecimento em relação às suas potencialidades, dado que há diversas incertezas em relação à própria implantação e a carência de estudos sobre a tecnologia.

No que diz respeito ao Brasil, fez-se claro que há grande potencial de implementação da tecnologia, devido ao fato de possuir biomassa em abundância, diminuindo assim boa parte dos entraves. Porém, há poucas perspectivas de investimento e implementação em função dos custos envolvidos na implementação e, repetindo o cenário mundial, no tempo necessário para a visualização efetiva de suas vantagens tanto ambientais quanto econômicas.

Ademais, no que tange ao Acordo de Paris e as NDCs brasileiras, é possível afirmar que há previsões normativas em relação ao meio ambiente e a sua proteção, porém, diversas incertezas e insuficientes políticas acarretaram no baixo cumprimento das próprias metas estabelecidas.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP)

e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Bibliografia

- ANDERSON, K.; PETERS, G. The trouble with negative emissions. *Science - Climate Change*, v. 359, p. 182 – 183, 10 2016. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aah4567>. Acesso em: 12/02/2022.
- BENITES-LAZARO, L.; MELLO-THÉRY, N.; LAHSEN, M. Business storytelling about energy and climate change: The case of Brazil's ethanol industry. *Energy Research & Social Science*, v. 31, p. 77 – 85, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629617301834?via%3Dhub>. Acesso em: 01/02/2022.
- BODANSKY, Daniel. Legally-Binding vs. Non-Legally Binding Instruments, in TOWARDS A WORKABLE AND EFFECTIVE CLIMATE REGIME. Scott Barrett, Carlo Carraro& Jaime de Melo eds., 2015.
- BODANSKY, Daniel. Legal Options for U.S. Acceptance of a New Climate Agreement. Center for Climate and Energy Solutions, May 2015, Disponível em: <http://www.c2es.org/docUploads/legal-options-us-acceptance-new-climate-change-agreement.pdf>. Acesso em: 12/02/2022.
- BODANSKY, Daniel. The Paris Climate Change Agreement: A New Hope? American Journal of International Law. The American Society of International Law; J. 288., 2016. p.303
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Protocolo de Quioto**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/protocolo-de-quioto>. Acesso em: 02/02/2022.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME). **Resenha Energética Brasileira**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energ%C3%A9tica+-+Brasil+2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>. Acesso em: 08/02/2022.
- FAZZI, L. R. et al. A REGULAÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO BRASIL E NOS EUA NO CONTEXTO DA MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E DO CORRELATO ACORDO DE PARIS. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, n. esp, p. 104 – 119, 05 2020. Disponível em: http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9155. Acesso em: 01/02/2022.
- FUSS, S. et al. Betting on negative emissions. *Nature Climate Change*, v. 4, p. 850 – 853, 2014. Disponível em: https://www.globalcarbonproject.org/global/pdf/Fuss_2014_Betting%20on%20negative%20emissions.NatureCC.pdf. Acesso em: 12/02/2022.
- GLOBAL CCS INSTITUTE. Global Status of CCS 2021: CCS ACCELERATING TO NET ZERO. [S.I.], 2019. Disponível em: <https://www.globalccsinstitute.com/wp-content/uploads/2021/11/Global-Status-of-CCS-2021-Global-CCS-Institute-1121.pdf>. Acesso em: 18/02/2022.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energias renováveis: um futuro sustentável . *Revista USP*, [S. I.], n. 72, p. 6-15, 2007. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i72p6-15. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13564>. Acesso em: 02/02/2022.
- GOUGH, C.; UPHAM, P. Biomass energy with carbon capture and storage (BECCS or BioCCS). *Greenhouse Gases Science and Technology*, v. 1, n. 4, p. 324 – 334, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ghg.34>. Acesso em: 01/02/2022.
- GRANGEIA, C. da S.; SANTOS, L. A contribuição das estratégias de mobilidade corporativa (sustentável) no âmbito do planejamento urbano. *E-Metrópolis*, v. 42, n. 11, p. 43 – 48, 2020. Disponível em: http://emetropolis.net/system/artigos/arquivo_pdfs/000/000/328/original/emetropolis42_art3.pdf?1604531161. Acesso em: 12/02/2022.
- HÉMERY, D.; DEBEIR, J.- C.; DÉLEAGE, J.- P. Uma história da energia. Brasília: Ed. Universidade de Brasília, 1991 IEA. 2012. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2012>. Acesso em: 12/02/2022.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa. [S.I.], 2020. Disponível em: [https://energiaeambiente.org.br/produto/analise-das-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-2020#:~:text=A%20an%C3%A1lise%20do%20Sistema%20de,Brasil%20\(1970%2D2019\)](https://energiaeambiente.org.br/produto/analise-das-emissoes-brasileiras-de-gases-de-efeito-estufa-2020#:~:text=A%20an%C3%A1lise%20do%20Sistema%20de,Brasil%20(1970%2D2019)). Acesso em: 08/02/2022.

International Energy Statistics . The U.S. Energy Information Administration,2018 . Disponível em: <https://www.eia.gov/international/data/world>. Acesso em: 02/02/2022.

INVENTÁRIO GEE SP; CETESB; SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. 3º Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa Diretos e Indiretos do Estado de São Paulo. [S.I.], 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/inventario-gee-sp/consulta-publica/3o-inventario-de-emissoes-antropicas-de-gases-de-efeito-estufa-diretos-e-indiretos-do-estado-de-sao-paulo>. Acesso em: 12/02/2022.

IPCC; WMO; UNEP. Climate Change 2021: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. [S.I.], 2021. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf. Acesso em: 08/01/2022

KEMPER, J. Biomass and carbon dioxide capture and storage: A review. International Journal of Greenhouse Gas Control, v. 430, p. – 401, 2015. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1750583615002650?token=8867C6FBE4156C59A9BC90EF4AA0CB1507AC34A16435188CD8D039EE2BEB6B2302E937DF6115EoriginRegion=us-east-1&originCreation=20220330170151>. Acesso em: 12/02/2022.

LAKO, P. Biomass for Heat and Power Technology Brief. [S.I.], 2015. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2015/IRENA-ET SAP_Tech_Brief_E05_Biomass-for-Heat-and-Power.pdf. Acesso em: 12/02/2022.

LAMPREIA, J. et al. Analyses and perspectives for Brazilian low carbon technological development in the energy sector. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 15, p. 3432 – 3444, 2011. Disponível em: https://d1wqxts1xzle7.cloudfront.net/37413434/RSER_article-libre.pdf?1429907285=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DAnalyses_and_perspectives_for_Brazilian.pdf&Expires=1648668369&Signature=bvYsqtU6xVSmic4IFBCBlxcp2N2woxkBigS7QQWsF4MHT-NKR8WrcbckRrPd1alfhFXgDEGc6gPZJrC_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA. Acesso em: 16/02/2022.

LEI Nº 13.576, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME). Resenha Energética Brasileira. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha+Energ%C3%A9tica+-+Brasil+2015.pdf/4e-6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>. Acesso em: 08/02/2022.

MOREIRA, J. R. et al. BECCS potential in Brazil: Achieving negative emissions in ethanol and electricity production based on sugar cane bagasse and other residues. Applied Energy, v. 179, p. 55 – 63, 2016. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002766118>. Acesso em: 18/02/2022.

OBERSTEINER, M. et al. How to spend a dwindling greenhouse gas budget. Nature Climate Change, v. 8, p. 7 – 10, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-017-0045-1>. Acesso em: 12/02/2022.

OLDFIELD, F.; STEFFEN, W. Anthropogenic climate change and the nature of Earth System science. THE ANTHROPOCENE REVIEW, v. 1, p. 70 – 75, 01 2014. Disponível em: https://openresearch-repository.anu.edu.au/bitstream/1885/66450/2/01_Oldfield_Anthropogenic_climate_change_2014.pdf. Acesso em: 12/02/2022

PEIXER, J. F. B. A CONTRIBUIÇÃO NACIONALMENTE DETERMINADA DO BRASIL PARA CUMPRIMENTO DO ACORDO DE PARIS:: METAS E PERSPECTIVAS FUTURAS. 2019. 346 p. Tese (Direito na área de concentração Direito, Política e Sociedade) — Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/199009>. Acesso em: 02/02/2022.

PORTARIA Nº 419, DE 20 DE NOVEMBRO DE 2019

POUR, N. BECCS Bioenergy with Carbon Capture and Storage: Sustainability, Challenges, and Potential. 2018. 238 p. Tese (Department of Chemical Engineering) — The University of Melbourne. Disponível em: <https://minerva-access.unimelb.edu.au/handle/11343/214528>. Acesso em: 12/02/2022.

RICCI, O.; SELOSSE, S. Global and regional potential for bioelectricity with carbon capture and storage. *Energy Policy*, v. 52, p. 689 – 698, 2013. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301421512008853?token=7721EE81037D71BB3CF6D4800762678D93CF7846992866C3904409ADC278CF636531E5D08C6E77DoriginRegion=us-east-1&originCreation=20220330171808>. Acesso em: 08/02/2022.

SAVAREI, Annalisa. The Paris Agreement: a Rejoinder, EJIL:TALK!, 2016, Disponível em: <http://www.ejiltalk.org/the-paris-agreement-a-rejoinder/> Acesso em: 08/02/2022.

SMITH, P. et al. Biophysical and economic limits to negative CO₂ emissions. *Nature Climate Change*, v. 6, p. 42 – 50, 2016. Disponível em: <https://abdn.pure.elsevier.com/en/publications/biophysical-and-economic-limits-to-negative-co2-emissions>. Acesso em: 12/02/2022.

SOUZA, G. M. et al. The role of bioenergy in a climate-changing world. *Environmental Development*, Elsevier, v. 23, p. 57 – 64, 2017. Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68329.pdf>. Acesso em: 02/02/2022.

SPERANZA, J., ROMEIRO, V., BETIOL, L., BIDERMAN, R. **Monitoramento da implementação da política climática brasileira:** implicações para a Contribuição Nacionalmente Determinada. Working Paper. São Paulo, Brasil: WRI Brasil. Disponível em: <http://wribrasil.org.br/pt/publication/monitoramento-daimplementacao-da-politica-climatica-brasileira> Acesso em: 02/02/2022.

STATTMAN, S. L.; HOSPES, O.; MOL, A. P. Governing biofuels in Brazil: a comparison of ethanol and biodiesel policies. *Energy Policy*, v. 61, p. 22 – 30, 2013. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301421513004825?token=C749073C0CA7F1B720F08782B0D2661760EAD3BE7CEFC371D6F98582600A918287596AAB43D7ForiginRegion=us-east-1&originCreation=202203-30180221>. Acesso em: 02/02/2022.

SUBRAMANIAM, Y. et al. The impact of microfinance on poverty and income inequality in developing countries. *Asian Pacific Economic Literature*, v. 35, p. 36 – 38, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/apel.12326>. Acesso em: 12/02/2022.

T.GASSER et al. Negative emissions physically needed to keep global warming below 2 C. *Nature*, p. 1 – 7, 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ncomms8958.pdf>. Acesso em: 12/02/2022.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Fast-Start Finance**. Disponível em: http://unfccc.int/cooperation_support/financial_mechanism/fast_start_finance/items/5646.php. Acesso em: 02/02/2022.

VIOLA, Eduardo; BASSO, Larissa. Dá para acreditar nas metas do Brasil? Observatório do Clima. Disponível em: <http://www.observatorioclima.eco.br/da-para-acreditar-nas-metas-do-brasil/>. Acesso em: 14/02/2022.

WRI BRASIL. 2020. Disponível em: [https://wribrasil.org.br/pt/blog/2020/02/quatro-graficos-explicam-emissões-de-gases-de-efeito-estufa-por-pais-e-por-setor#:~:text=Ind%C3%BAstria%20e%20Transporte%20s%C3%A3o%20fontes,de%20energia\)%2C%2055%25](https://wribrasil.org.br/pt/blog/2020/02/quatro-graficos-explicam-emissões-de-gases-de-efeito-estufa-por-pais-e-por-setor#:~:text=Ind%C3%BAstria%20e%20Transporte%20s%C3%A3o%20fontes,de%20energia)%2C%2055%25). Acesso em: 08/02/2022.

Uso de técnicas isotópicas para avaliação de contaminação por vazamento de metano por técnica de fraturamento hidráulico

Use of isotopic techniques to assess methane leakage contamination by hydraulic fracturing technique

Pietro Salomão De Sá

Luis Felipe Brito

Veridiana Teixeira De Souza Martins

Sumário: 1. Metano e Fraturamento Hidráulico. 2. Contaminação do Solo por Metano. 3. Origem da Contaminação. 4. Conclusão. Bibliografía.

Resumo: A discussão e planejamento sobre diversificação da matriz energética brasileira é cada vez mais presentes em vários setores estratégicos da sociedade, a demanda por mais fontes de energia rentável e segura será crescente em função do tempo. Portanto, há de se buscar novas fontes que assegurem a população de sua eficácia, segurança e manutenção de longo prazo. Uma das proposições que podem assegurar uma matriz energética mais segura e estruturada é inserção de gás não-convenional em sua estratégia.

Nesse propósito o presente artigo pretende analisar a etapas de prospecção de gás natural não-convenional através do método de fraturamento hidráulico (Fracking) e suas implicações para o meio afetado. O principal alvo das análises são locais onde ocorreram instalação de plantas fracking bem sucedidas que apresentam disponibilidade e transparência de dados. As informações coletadas nessas etapas visam alicerçar um experimento de bancada que gerará dados isotópicos da interação dos produtos do fracking e o solo, esses dados serão utilizados para aferir informações em relação a qualidade do solo em quesitos ambientais após a etapa de fraturamento hidráulico.

Palavras-chave: Fraturamento hidráulico; Fracking; Ambiental; Isotópica.

Abstract: The discussion and planning on diversification of the Brazilian energy matrix is increasingly present in various strategic sectors of society, the demand for more profitable and safe energy sources will grow over time. Therefore, new sources must be sought to assure the population of its efficacy, safety and long-term maintenance. One of the propositions that can ensure a more secure and structured energy matrix is the inclusion of unconventional gas in its strategy.

For this purpose, the present article intends to analyze the stages of prospecting for unconventional natural gas through the hydraulic fracturing method (Fracking) and its implications for the affected environment. The main target of the analyzes are sites where successful fracking plants have been installed that present data availability and transparency. The information collected in these stages aims to support a bench experiment that will generate isotopic data on the interaction of fracking residues and the soil.

Keywords: Hydraulic fracturing; fracking; Environmental; Isotope.

1. Metano e Fraturamento Hidráulico

Uma formação de folhelho (Figura 1) com gás confinado (Shale Gas) pode conter 70% de metano (Gás natural, CH₄) em seus interstícios porosos e 30% de outros gases, como etano, propano e butano (Fonte). O principal foco do fraturamento hidráulico é a retirada desse produto de metano, a fim de seu uso comercial e energético. Para sua retirada é necessário o uso do fraturamento hidráulico, o método inclui a perfuração de solo e camadas de diferentes litotipos rochos até a chegada na camada de interesse. Após atingir a camada de interesse, há necessidade de se iniciar perfuração horizontal para interceptar a formação e instalação da estrutura de prospecção. Na etapa de prospecção do gás natural são bombeados líquidos para gerar fissões nas estruturas foliadas do folhelho, essa quebra libera os gases presentes na formação para sua futura retirada. O Líquido bombeado contém alta densidade e serve de diversos propósitos mecânicos e químicos para a sucessibilidade do processo que pode ser realizado em profundidades superiores a 3500 metros. Mesmo em profundidades tão distantes da superfície a fratura realizada em superfície gera diversos sismos de baixa amplitude que são capazes de serem sentidos na região do entorno próximo da planta de prospecção (FRANK JAHN, 2008).



Figura 1: Folhelho (Shale) demonstrando suas estruturas foliadas. Fonte: versh / Getty Images.

2. Contaminação do Solo por Metano

O metano pode contaminar o solo por diversas origens e gerar altos impactos ambientais, São Paulo em especial contém diversos casos relacionados a áreas contaminadas por metano e outros hidrocarbonetos. A Cetesb (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) é o órgão ambiental responsável por fiscalizar essas áreas e determinar parâmetros de remediação para seu devido tratamento. No Brasil este órgão é reconhecido como o mais rigoroso e de melhor qualidade ambiental do país, por este motivo suas diretrizes são o melhor caminho a ser comparado quando tratado casos relacionados ao ambiente no ambiente brasileiro (CETESB, 2020).

“O metano na forma gasosa pode ser tóxico ao homem, se não for empregado conforme as recomendações. Em caso de acidente, os sintomas dependem da concentração inalada e da duração da exposição, podendo causar desde vertigem e sonolência, asfixia, parada cardíaca, danos no sistema nervoso e outros danos à saúde. O contato com a substância em estado líquido, pode provocar queimaduras e necrose por congelamento. O efeito danoso da exposição a altas concentrações de metano, principalmente em locais confinados, reside na sua capacidade de deslocar o oxigênio do ar. Dessa forma, como decorrência da ausência ou escassez do oxigênio, em uma exposição aguda, os sintomas podem ser insuficiência respiratória, anestesia e perda de consciência.” (CETESB, 2021).

Além da exposição a saúde humana o metano gera risco de explosividade, como visto no documentário *Gasland* (2010) o metano pode chegar as torneiras de moradores do entorno da formação e gerar danos à saúde de quem consome da água contaminada (SWIMMER, 2015). Tendo em vista este perigo relacionado ao metano, há decorrência de diversas discussões ambientais no cenário atual sobre a empregabilidade do método de fraturamento hidráulico visando seus impactos e passivos ambientais deixados após sua operação de curto prazo (DEC, 2015).

3. Origem da Contaminação

Uma das grandes questões ambientais relacionadas ao *shale gas* é sua suscetibilidade de contaminação natural ou de fato que a origem do metano seja relacionada a sua retirada. Para a contaminação relacionada ao *shale gas* ocorrer, de forma antrópica ou não, tem de se considerar que o metano terá que percorrer todo o caminho até a superfície, ultrapassando possíveis rochas selante (Formação superior aos depósitos de hidrocarbonetos), rochas não porosas e aquíferos livres ou confinados (DAYAL; MANI, 2017). Apesar de parecer improvável essa contaminação devido a profundidade do folhelho, ainda sim é possível o solo em superfície e águas subsuperficiais e superficiais serem afetadas de forma natural. Naturalmente formações geológicas apresentam falhas, fraturas e pequenos tremores até em ambientes tectonicamente estáveis. Há outras formas de geração de metano que são mais comuns do que aquelas relacionadas ao folhelho. A argila orgânica é o solo gerador de metano com maiores problemas relacionados a contaminação de solos e aquíferos no mundo, sua geração está vinculada a decomposição de sua matéria orgânica que tem como produto a geração do metano. A detecção da origem de contaminação de metano em solo pode ser feita de diversas formas, de modo direto com aparelhos que analisam a porcentagem relativa de metano no solo ou de modo inferido, onde se atesta contaminação por metano na área e se identifica através de sondagens a presença de argila orgânica (STEPHENSON, 2015).

Em um cenário onde são encontrados ambos os geradores de metano, ou seja, a argila orgânica e em camadas inferiores o folhelho com gases, se torna difícil a separação da origem do metano e de fato encontrar o real ator desta contaminação.

4. Discussão

A fim de diferenciar a origem do metano e definir de fato os responsáveis por aquele passivo ambiental se propõe a utilização do método de análise isotópica do carbono de ambas as origens. Cada formação e solo apresenta diferentes assembleias minerais e composição química, essa variedade se transcreverá na formação do metano que apresentará proporções únicas de isótopos de carbono. A variação de isótopos estáveis e componentes orgânicos e inorgânicos da rocha ou solo gerador do metano irá marcar quimicamente este produto com uma assinatura isotópica (ZHANG, 2019).

A assinatura isotópica define a proporção de isótopos estáveis, isótopos radiogênicos e instáveis, através da análise em um espectrômetro de massa (Figura 2) é possível inferir estatisticamente a provável origem do metano e assim definir de fato assim sua origem (VALLEY; COLE, 2019).

No caso, ainda seria possível que reativação de uma falha geológica inativa pudesse causar o vazamento de metano de uma formação de folhelho, porém ainda assim o método da análise isotópica iria distinguir esta situação, pois a interferência do líquido de perfuração certamente alteraria a assinatura isotópica do produto devido aos inúmeros compostos nele inclusos.



Figura 2: Espectrômetro de massa modelo LTQ OrbiTrap XL-Thermo Scientific (Fonte: Nadine90/Wikipédia, 2011)

5. Conclusão

Para monitoramento, investigação e confirmação de origem de contaminação o método isotópico se mostra um grande aliado potencial para distinção da contaminação de metano em solo, assim diferenciando um passivo ambiental relacionado a atividade de fraturamento hidráulico ou de fonte natural. Levando em conta o método não ser utilizado no Brasil e haver ainda discussões relacionados ao seu custo/benefício ambiental, todo e qualquer método que assegure as empresas que extraiam o gás assim como os órgãos ambientais de sua operação e possível investigação ambiental será de grande benefício para o cenário. A inserção do método em conjunto com os métodos de investigação vigentes ainda afirmará de fato a origem do metano. Como próximos passos se espera avaliar o método para outros hidrocarbonetos para perícias de vazamentos em laboratório.

Bibliografia

- CETESB. **Ficha de Informação Toxicológica (Metano)**, 2020.
- DAYAL, A. M.; MANI, D. **Shale Gas: Exploration and Environmental and Economic Impacts**. [s.l: s.n.]
- DEC. Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High Volume Hydraulic Fracking. In: **Supplemental Generic Environmental Impact Statement**. [s.l.] Departament of Environmental Conservation, 2015. p. 76–138.
- FRANK JAHN, M. C. AND M. G. **Hydrocarbon Exploration & Production**. [s.l: s.n.]. v. 9
- STEPHENSON, M. **Shale Gas and Fracking: The Science Behind the Controversy**. [s.l: s.n.]
- SWIMMER, J. **GasLand**. In: **Documentary Case Studies**. [s.l: s.n.]
- VALLEY, J. W.; COLE, D. R. **Stable isotope geochemistry**. [s.l: s.n.]. v. 43
- ZHANG, L. Shale gas reservoir characteristics and microscopic flow mechanisms. In: **Developments in Petroleum Science**. [s.l: s.n.]. v. 66.

Descarbonização e justiça energética: uma análise da Alemanha e do Reino Unido

Decarbonization and energy justice: an analysis of Germany and the United Kingdom

Rafael Luis Sacco¹

Thiago Luis Felipe Brito²

Hirdan Katarina De Medeiros Costa³

Sumário: 1. Introdução. 2. Análise histórica das políticas de transição energética. 2.1. Alemanha. 2.2. Reino Unido. 3. Questões de justiça energética e vulnerabilidade. 4. Conclusão. Agradecimentos. Bibliografía.

Resumo: Com a hipótese do aquecimento global antropogênico colocando as atividades humanas como o principal cerne das mudanças climáticas, diversos países têm adotado políticas de transição energética e decarbonização de suas economias. Entre os países da Europa (com exceção da Rússia), a Alemanha e o Reino Unido são os que mais emitem gases de efeito estufa na atmosfera. Entretanto, os níveis dessas emissões vêm baixando ao longo dos últimos anos, sendo um reflexo das políticas ambiciosas de decarbonização em ambos os países. Nesse sentido, tanto a Alemanha quanto o Reino Unido vêm aumentando suas exposições a alguns fatores de risco: (i) o aumento da participação de fontes intermitentes em suas matrizes energéticas, (ii) a dependência de fontes energéticas externas, (iii) o aumento no preço da energia e (iv) o agravamento do desemprego em regiões fortemente dependentes da indústria carbonífera. O estudo da vulnerabilidade tem sido um poderoso instrumento analítico para descrever estados de susceptibilidade a danos, impotência e marginalidade dos sistemas físicos e sociais, além de orientar ações para a redução de riscos. Para uma transição energética justa, é fundamental que se inclua todas as camadas da população na mesa de negociações, evitando que os interesses de grupos mais poderosos suprimam as conquistas dos grupos mais vulneráveis da sociedade.

Palavras-chave: Transição energética; justiça energética; políticas de decarbonização.

Abstract: With the anthropogenic global warming hypothesis, several countries have adopted decarbonization policies for their economies. Germany and the United Kingdom are the higher emitters of greenhouse gases in Europe, except for Russia. However, these emissions have been decreasing over the last few years, reflecting the ambitious decarbonization policies in both countries. In this sense, both Germany and the United Kingdom have been increasing their exposure to some risk factors, such as (i) the increase in the participation of intermittent sources in their energy matrix, (ii) the dependence on external energy sources, (iii) the rising price of energy, and (iv) the increase in unemployment in regions heavily dependent on the coal industry. The study of vulnerability has been a powerful analytical tool to describe states of susceptibility to damage, impotence, and marginality of physical and social systems, in addition to guiding actions to reduce risks. For a just energy transition, it is essential to prevent a few lobby groups from suppressing the interests of the most vulnerable ones.

Keywords: Energy transition; energy justice; decarbonization policies.

¹ Mestrando em Ciências da Energia /Universidade de São Paulo, rafael.lsacco@gmail.com.

² Doutor em Ciências da Energia /Universidade de São Paulo, thiagobrito@usp.br.

³ Doutora em Ciências da Energia / Universidade de São Paulo, hirdan@usp.br.

1. Introdução

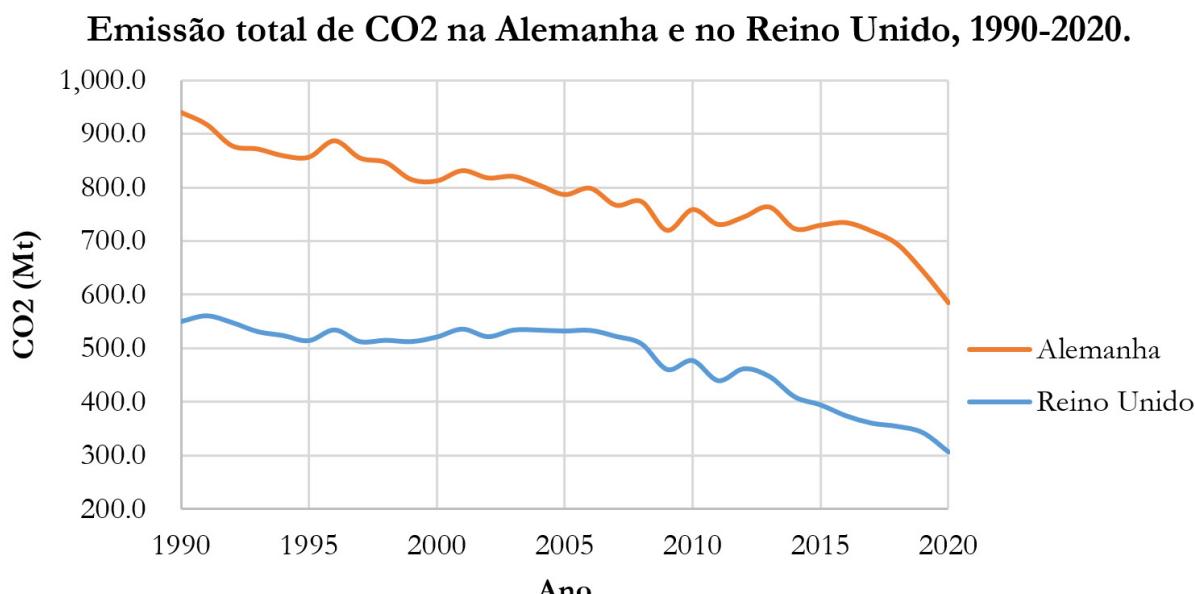
Com a hipótese do aquecimento global antropogênico, diversos países no mundo têm adotado políticas de transição energética e descarbonização de suas economias. A literatura aponta que o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem ou subsidiem uma matriz energética mais limpa e renovável tem sido eficaz em atingir o propósito de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (COUTURE e GAGNON, 2009). No entanto, tais medidas podem colocar em cheque questões de segurança e justiça energética nos locais em que são aplicadas, onde alguns indivíduos e comunidades são mais vulneráveis aos possíveis efeitos adversos dessas políticas (CARLEY et al., 2018; SOVACCOL, 2021).

Segundo Carley e Konisky (2020), políticas de transição energética e descarbonização irão inevitavelmente produzir e, em muitos casos, perpetuar conjuntos pré-existentes de beneficiários e desfavorecidos, sendo esses últimos expostos a maiores encargos e aumento do custo de vida. Além de afetar diretamente a empregabilidade de indústrias tradicionais do setor energético (e.g., termelétricas a combustíveis fósseis), essas políticas também podem lesar comunidades de baixa renda, aumentando a insegurança energética das mesmas. Monyei et al. (2019) afirmam que é preciso analisar se a descarbonização não está sendo realizada às custas dos membros mais vulneráveis da sociedade. A vulnerabilidade social, agravada pelos efeitos adversos dessas políticas, pode ocorrer em níveis local, regional, nacional ou, até mesmo, global, onde as decisões tomadas em um país irão influenciar negativamente as condições de vida das populações em outras regiões do planeta (SOVACOOL et al., 2021).

Entre os países da Europa (com exceção da Rússia), a Alemanha e o Reino Unido são os que mais emitem gases de efeito estufa na atmosfera (ANDREW e PETERS, 2021; FRIEDLINGSTEIN et al., 2021). Entretanto, os níveis dessas emissões vêm baixando ao longo dos últimos anos (ver Figura 1), sendo um reflexo das políticas ambiciosas de descarbonização em ambos os países (COUTURE e GAGNON, 2009). Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise exploratória do processo histórico de políticas de transição energética na Alemanha e no Reino Unido (dois expoentes nesse tema) sob uma perspectiva de justiça energética em nível nacional.

A seção 2 abordará o histórico das políticas de transição energética na Alemanha e no Reino Unido, a seção 3 discorrerá sobre justiça energética e questões de vulnerabilidade relacionadas a essas políticas e a seção 4 concluirá este trabalho.

Figura 1 – Emissão total de CO₂ na Alemanha e no Reino Unido, 1990-2020.



Fonte: IEA (2021a); IEA (2021b).

2. Análise histórica das políticas de transição energética

2.1. Alemanha

No início dos anos 1990, o mercado de energia alemão passou por um processo de liberalização. O setor elétrico, por exemplo, passou de um cenário dominado por monopólios regionais regulados para um cenário de investimentos privados em centrais geradoras convencionais, dando aos consumidores a oportunidade de comprar energia elétrica de diferentes fornecedores, tanto regionais, quanto internacionais (KEMFERT et al., 2015). Foi nessa mesma época que o termo *Energiewende*⁴ começou a se popularizar entre os alemães, sendo introduzido pela primeira vez pelo *Öko-Institut* em 1980, que defendia o descomissionamento de todas as usinas nucleares no país. Em 1991, o primeiro programa alemão de *feed-in tariff*⁵ foi lançado visando o aumento da participação das renováveis no setor elétrico (JACOBS, 2012).

Em 1999, o governo alemão introduziu uma taxação sobre a energia em cinco etapas incrementais anuais, que perdurou até 2003, aplicando-se aos combustíveis fósseis usados no transporte, para obtenção de calor e na geração de energia elétrica. Tal instrumento foi denominado na época de *eco-tax* (KEMFERT et al., 2015). Em 2000, o governo alemão implementou o *Erneuerbare-Energien-Gesetz* (EEG), ou o *Renewable Energy Act* em inglês, com o objetivo de fornecer incentivos para a expansão das renováveis no setor elétrico. Essa lei foi concebida visando ampliar a difusão de tecnologias mais sustentáveis ao mesmo tempo em que procurou estabelecer uma estrutura tarifária que limitasse o lucro excessivo dos investidores. As características centrais do EEG foram: o estabelecimento de uma tarifa fixa por unidade de energia elétrica de origem renovável concedida por até 20 anos (tornando as receitas das companhias independentes do preço da eletricidade), a obrigação das empresas de transmissão elétrica em priorizar energia de origem renovável e a alocação dos custos aos consumidores por meio de uma sobretaxa relacionada à energia renovável (LAUBER e JACOBSSON, 2015; KEMFERT et al., 2015). Desde 2000, a participação das renováveis na oferta energética alemã cresceu substancialmente (JACOBS, 2012), conforme mostrado na Figura 2. Em 2009, a coalizão conservadora-liberal retornou ao poder na Alemanha, resultando em uma flexibilização nas políticas até então implementadas. Em 2011, no entanto, o acidente nuclear causado por um maremoto na província de Fukushima, Japão, reacendeu o sentimento anti-nuclear na população e trouxe um consenso geral no governo alemão para um descomissionamento gradual das usinas nucleares no país até 2022. Tal consenso foi introduzido no *Energiekonzept*, programa estratégico e guia para a transição energética alemã lançado em 2010, o qual estabeleceu metas de descarbonização até 2050 (LAUBER e JACOBSSON, 2015).

Em um panorama geral, Geels et al. (2016) sugerem que a transição energética na Alemanha vem se desenvolvendo em um contexto de “substituição”, onde a inovação tecnológica surge por meio de novos agentes (pequenas empresas, cooperativas, ativistas ambientais, fazendeiros, etc) que, por estarem resguardados por políticas de incentivo, competem com as empresas convencionais do mercado. No caso alemão, esses novos agentes direcionaram-se para as fontes renováveis de pequena escala: painéis solares residenciais, biogás e pequenas fazendas eólicas onshore, salvo pequenas exceções, e.g. alguns parques eólicos offshore.

4 Em alemão, o termo Energiewende significa: transição energética. No contexto deste trabalho, o termo refere-se ao nome dado para o movimento surgido nos anos 1980 que defendia o fim das usinas nucleares no país.

5 O feed-in tariff alemão é uma política de incentivo governamental que oferece preços mínimos garantidos à produtores de energia a partir de fontes renováveis (COUTURE e GAGNON, 2010).

2.2. Reino Unido

No final dos anos 1990, o Reino Unido assinou o protocolo de Quioto, comprometendo-se a reduzir as emissões de gases de efeito estufa de sua economia. Já no início dos anos 2000, o país foi marcado pela sua inserção no mercado europeu de carbono, que visava a diminuição da participação dos combustíveis fósseis de sua matriz energética (BULKELEY e KERN, 2006). Foi somente em 2008, entretanto, que o país lançou a sua primeira lei de transição energética, denominada: *The Climate Change Act*. Os principais componentes desta lei foram: a redução das emissões de ao menos 80% dos gases de efeito estufa até 2050, tendo como base as emissões de 1990, a adoção de metas de médio-prazo de redução das emissões de carbono, a criação do *Committee on Climate Change* (CCC), órgão consultivo e independente que funciona como um assegurador das políticas de transição energética e dos objetivos de longo prazo estabelecidos pelo Reino Unido, e o monitoramento contínuo e obrigatório das políticas climáticas implementadas. A lei possuía uma abordagem de integração entre os setores público e privado, além de reconhecer a importância e a responsabilidade dos governos regionais e locais no processo de descarbonização (HM GOVERNMENT, 2009; RISING et al., 2021).

Em julho de 2009, o governo britânico publicou o *The Low Carbon Transition Plan*, o primeiro plano de transição energética visando atender as três primeiras metas de redução das emissões de carbono estabelecidas pelo *The Climate Change Act*, cobrindo os períodos de 2008-2012, 2013-2017 e 2018-2022. Tal plano tinha como objetivos a participação de 30% das renováveis na geração elétrica do país até 2020, a facilitação burocrática para a construção de novas usinas nucleares, a implementação de *smart meters*⁶ em todas as residências britânicas até 2020, o investimento de até GBP 120 milhões em parques eólicos *offshore*, o incentivo a adoção de carros elétricos e a implementação de programas de auxílio aos mais vulneráveis (principalmente à pensionistas de baixa renda) (HM GOVERNMENT, 2009). Em 2011, o governo lançou o *The Carbon Plan*, a continuação do plano de transição energética lançado em 2009, só que visando cumprir a quarta meta de redução das emissões de carbono estabelecida pelo *The Climate Change Act*, cobrindo o período de 2023-2027 (HM GOVERNMENT, 2011). Com a ambição de reduzir em 50% as emissões de carbono até 2027, tendo como base as emissões de 1990, o *The Carbon Plan* procurou endereçar o chamado “trilema” da política energética: promover a descarbonização da economia sem diminuir a segurança energética do país e minimizar os custos dos consumidores pela transição energética, particularmente os de baixa renda (BARTON et al. 2013). Nos anos seguintes, no entanto, por pressão dos membros do partido conservador, o governo britânico reduziu os subsídios dados para as indústrias fotovoltaica e eólica, encerrou o programa *The Green Deal*⁷ e reduziu os incentivos aos carros elétricos (HESS e RENNER, 2019).

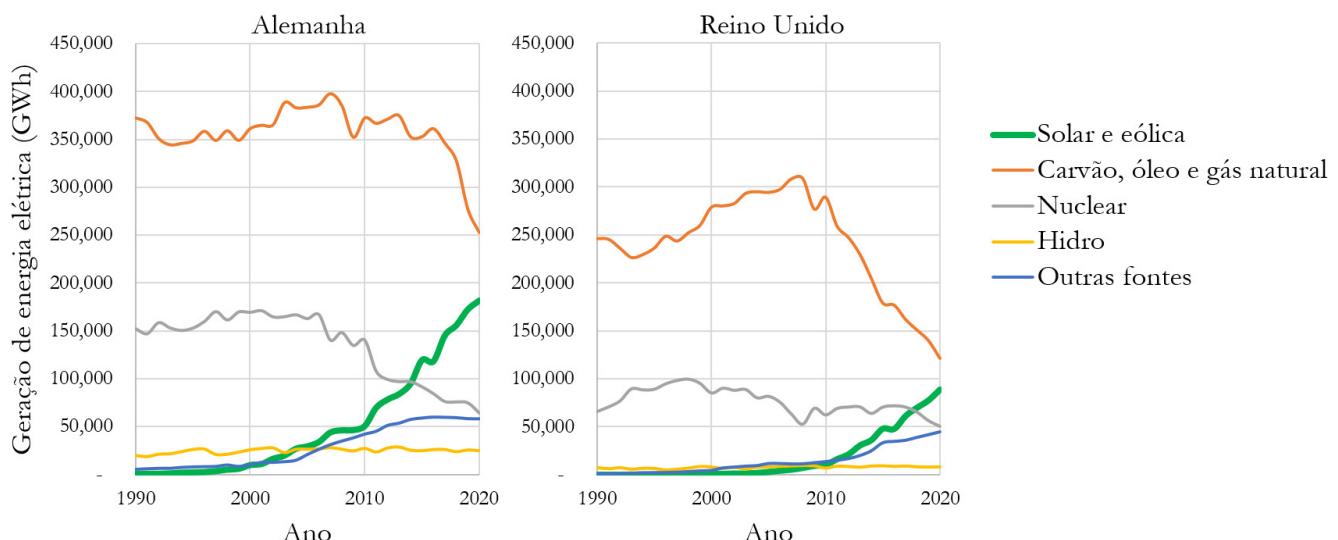
Em um panorama geral, Geels et al. (2016) sugerem que a transição energética no Reino Unido vem se desenvolvendo em um contexto de “transformação”, onde tecnologias de energia renovável são implantadas principalmente por grandes empresas já estabelecidas no mercado, motivadas tanto por questões mercadológicas quanto por conformidade regulatória. Os processos licitatórios e os instrumentos políticos para novos empreendimentos de geração de energia renovável têm sido menos estáveis e mais complicados que na Alemanha, aumentando a barreira de entrada e privilegiando projetos de escala maiores. No Reino Unido, as grandes empresas focam em projetos de larga escala: nuclear, parques eólicos *offshore*, conversão das plantas a carvão existentes em plantas de biomassa, biogás gerado em aterros sanitários e tecnologias de captura e armazenamento de carbono. A Figura 2 mostra a geração de energia elétrica por fonte energética na Alemanha e no Reino Unido, entre os anos de 1990 e 2020.

⁶ Smart meters são dispositivos inteligentes que medem o consumo de energia elétrica de um determinado local. Para um maior entendimento sobre a relação entre os smart meters britânicos e justiça energética, ver Sovacool et al. (2021).

⁷ Lançado em 2012, o *The Green Deal* britânico foi um programa governamental visando melhorar a eficiência energética de casas e espaços comunitários no Reino Unido.

Figura 2 – Geração de energia elétrica por fonte energética na Alemanha e no Reino Unido, 1990-2020.

Geração de energia elétrica por fonte energética na Alemanha e no Reino Unido, 1990-2020.



Fonte: IEA (2021c); IEA (2021d).

3. Questões de justiça energética e vulnerabilidade

O conceito de justiça energética é centrado no entendimento de que todos os indivíduos devem ter acesso a uma energia acessível, segura, sustentável e suficiente para suprir uma vida minimamente digna (CARLEY e KONISNKY, 2020). Demski et al. (2018) levantam preocupações sobre equanimidade relacionadas com políticas de transição energética. Grupos mais vulneráveis da população terão maiores dificuldades em arcar com encargos mais altos para sustentar uma matriz energética com menor emissão de carbono, por exemplo, além de não possuírem recursos para se envolverem com profundidade em debates e decisões políticas sobre o tema. O estudo da vulnerabilidade tem sido um poderoso instrumento analítico para descrever estados de susceptibilidade a danos, impotência e marginalidade dos sistemas físicos e sociais, além de orientar ações para a redução de riscos. Os parâmetros-chave que a compõem são: o grau de exposição de um determinado sistema a um evento adverso, sua sensibilidade de ser afetado pelo mesmo e sua capacidade de adaptação. Além disso, a vulnerabilidade pode ser percebida como uma questão de insegurança, onde são contemplados não apenas as situações de falta de segurança alimentar e econômica, como também a possibilidade de se submeter a disputas e conflitos. Uma análise de vulnerabilidade pode incorporar uma série de parâmetros qualitativos e quantitativos (BURTON, KATES e WHITE, 1993; ADGER, 2006).

Carley et al. (2018) trabalhou com o tema estabelecendo um ajustamento do conceito de vulnerabilidade: a propensão de ser negativamente impactado pelos efeitos adversos ocasionados por políticas energéticas governamentais de combate às mudanças climáticas. Dessa forma, vulnerabilidade é função da exposição que uma sociedade tem perante as políticas de transição energética, a sensibilidade que essa sociedade tem com relação aos impactos gerados por elas e a capacidade de adaptação que a mesma possui de atenuar e mitigar seus efeitos negativos.

Dessa forma, tanto a Alemanha quanto o Reino Unido vêm aumentando suas exposições a alguns fatores de risco. O primeiro deles é o aumento da participação das renováveis em suas matrizes energéticas. À medida que a penetração das energias renováveis intermitentes crescem, a estabilidade de curto e longo prazo do sistema precisa ser endereçada, pois há um impacto em sua confiabilidade, podendo afetar o fornecimento de energia elétrica para a população (WANGDEE, 2014). O segundo fator de risco é a dependência de fontes energéticas externas. Conforme avançam as políticas de descarbonização, os países acabam abrindo mão de fontes energéticas que, embora mais poluentes,

garantem um fornecimento estável de energia ao longo do tempo. Atualmente, os dois países aqui abordados possuem forte dependência energética externa, sendo o principal fornecedor de energia a Rússia, país envolvido em alguns conflitos com os seus países vizinhos (LE COQ e PALTSEVA, 2009; GLOBALDATA, 2021). Os dois fatores de risco mencionados acima levam a um terceiro fator: o aumento no preço da energia. A demanda por energia pressiona a oferta, que possui maior intermitência no sistema e maior dependência externa, ocasionando um aumento geral nos preços da energia (LAUBER e JACOBSSON, 2015), aumentando a vulnerabilidade das camadas mais pobres da população. Um quarto fator de risco é o agravamento do desemprego em regiões fortemente dependentes da indústria carbonífera, afetando a economia regional e as condições de vida das famílias (CARLEY e KONISKY, 2020). Outros efeitos adversos de políticas de descarbonização podem ser encontrados e mensurados. Porém, Adger (2006) adverte que um dos maiores desafios para se realizar um estudo de vulnerabilidade é o desenvolvimento de indicadores robustos que possam fidedignamente registrar a realidade, incluindo diversos métodos de percepção de risco e vulnerabilidade.

4. Conclusão

Conforme apontado por Carley e Konisky (2020), há grandes vantagens para o meio ambiente e para a saúde humana ao interromper atividades de exploração de carvão e geração de energia por meio de combustíveis fósseis. Entretanto, é preciso reconhecer os possíveis efeitos adversos ao se elaborar políticas de transição energética. Esses efeitos podem ir muito além da própria indústria energética, aumentando as situações de vulnerabilidade da parcela mais pobre da população e da soberania nacional. Uma solução possível seria a criação de programas de adaptação a essas políticas, ajudando a neutralizar grandes exposições à fatores de risco. Conforme expresso por Scruton (2014), “o trabalho de destruição é rápido, fácil e recreativo; o labor da criação é lento, árduo e maçante”. Ao se considerar um aquecimento global antropogênico, as políticas de transição energética devem ser pensadas com responsabilidade e precaução, evitando destruir o avanço social conquistado até o momento com a criação de soluções fáceis para problemas complexos. Para uma transição energética justa, é fundamental que se inclua todas as camadas da população na mesa de negociações, evitando que os interesses de grupos mais poderosos suprimam as conquistas dos grupos mais vulneráveis da sociedade.

Estudos futuros que busquem uma quantificação da vulnerabilidade ou que promovam uma análise econômétrica sobre os efeitos de políticas energéticas, por exemplo, serão fundamentais para uma compreensão quantitativa sobre o tema e poderão ser usados como suporte para a elaboração de medidas de mitigação dos efeitos adversos dessas políticas.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Bibliografia

- ADGER, W. Neil. Vulnerability. *Global environmental change*, v. 16, n. 3, p. 268-281, 2006.
- ANDREW, Robbie; PETERS, Glen. The Global Carbon Project's fossil CO₂ emissions dataset. *figshare*, 4 out. 2021. Disponível em: <https://figshare.com/articles/preprint/The_Global_Carbon_Project_s_fossil_CO2_emissions_dataset/16729084/1>. Acesso em: 17 fev. 2022.
- BARTON, J. et al. Transition pathways for a UK low carbon electricity system: Comparing scenarios and technology implications. *Realising Transition Pathways*, 16 dez. 2013.
- BULKELEY, Harriet; KERN, Kristine. Local government and the governing of climate change in Germany and the UK. *Urban studies*, v. 43, n. 12, p. 2237-2259, 2006.
- BURTON, I.; KATES, R. W.; WHITE, G.F. *The Environment as Hazard*. 2. ed. New York: The Guilford Press, 1993.
- CARLEY, Sanya; KONISKY, David M. The justice and equity implications of the clean energy transition. *Nature Energy*, v. 5, n. 8, p. 569-577, 2020.
- CARLEY, S. et al. A framework for evaluating geographic disparities in energy transition vulnerability. *Nature Energy*, v. 3, n. 8, p. 621-627, 2018.
- COUTURE, Toby; GAGNON, Yves. An analysis of feed-in tariff remuneration models: Implications for renewable energy investment. *Energy policy*, v. 38, n. 2, p. 955-965, 2010.
- DEMSKI, C. et al. Acceptance of energy transitions and policies: Public conceptualisations of energy as a need and basic right in the United Kingdom. *Energy Research & Social Science*, v. 48, p. 33-45, 2019.
- FRIEDLINGSTEIN, P. et al. Global Carbon Budget 2021. *Earth Syst. Sci. Data Discuss*, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/essd-2021-386>>. Acesso em: 17 fev. 2022.
- GEELS, Frank W. et al. The enactment of socio-technical transition pathways: A reformulated typology and a comparative multi-level analysis of the German and UK low-carbon electricity transitions (1990–2014). *Research policy*, v. 45, n. 4, p. 896-913, 2016.
- GLOBALDATA Energy. UK must reduce dependence on fossil fuels to avoid future energy crises. *GlobalData Energy, Power Technology*, 28 set. 2021. Disponível em: <<https://www.power-technology.com/comment/uk-must-reduce-dependence-on-fossil-fuels/>>. Acesso em: 17 fev. 2022.
- HESS, David J.; RENNER, Madison. Conservative political parties and energy transitions in Europe: Opposition to climate mitigation policies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 104, p. 419-428, 2019.
- HM GOVERNMENT. The UK Low Carbon Transition Plan: National strategy for climate and energy. London, 15 jul. 2009.
- HM GOVERNMENT. The Carbon Plan: Delivering our low carbon future. London, 1 dez. 2011.
- IEA-INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Total CO₂ emissions, Germany 1990-2020. Data and Statistics, 2021a. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=GERMANY&fuel=CO2%20emissions&indicator=Tot CO2>>. Acesso em: 17 fev. 2022.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Total CO₂ emissions, United Kingdom 1990-2020. Data and Statistics, 2021b. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=UK&fuel=CO2%20emissions&indicator=TotCO2>>. Acesso em: 17 fev. 2022.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Electricity generation by source, Germany 1990-2020. Data and Statistics, 2021c. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=GERMANY&fuel=Ene rgy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>>. Acesso em: 17 fev. 2022.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Electricity generation by source, United Kingdom 1990-2020. Data and Statistics, 2021d. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=UK&fuel=Energy %20 supply&indicator=ElecGenByFuel>>. Acesso em: 17 fev. 2022.
- JACOBS, David. The German Energiewende—history, targets, policies and challenges. *Renewable Energy Law and Policy Review*, p. 223-233, 2012.

- KEMFERT, Claudia et al. Deep decarbonization in Germany: A macro-analysis of economic and political challenges of the 'Energiewende' (energy transition). DIW Berlin: Politikberatung kompakt, 2015.
- LAUBER, Volkmar; JACOBSSON, Staffan. The politics and economics of constructing, contesting and restricting socio-political space for renewables—The German Renewable Energy Act. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, v. 18, p. 147-163, 2016.
- LE COQ, Chloe; PALTSEVA, Elena. Measuring the security of external energy supply in the European Union. *Energy policy*, v. 37, n. 11, p. 4474-4481, 2009.
- MONYEI, C. G. et al. Justice, poverty, and electricity decarbonization. *The Electricity Journal*, v. 32, n. 1, p. 47-51, 2019.
- RISING, J. et al. Regional Just Transitions in the UK: Insights from 40 Years of Policy Experience. *Resources for the Future*, dez. 2021.
- SCRUTON, Roger. How to be a conservative. A&C Black, 2014.
- SOVACOOL, B. K. et al. Dispossessed by decarbonisation: Reducing vulnerability, injustice, and inequality in the lived experience of low-carbon pathways. *World Development*, v. 137, p. 105116, 2021.
- WANGDEE, Wijarn. Reliability Impact of intermittent renewable energy source integration into power system. In: 2014 International Electrical Engineering Congress (iEECON). IEEE, 2014. p. 1-4.

A utilização da tecnologia de blockchain e contratos inteligentes no ambiente de contratação livre de energia no Brasil (ACL) com o objetivo de promover maior integração do setor de gás natural e de comercialização de energia elétrica, tendo como modelo e caso os avanços tecnológicos observados na rede Ethereum.

The use of blockchain technology and smart contracts in the free energy contracting environment in Brazil (ACL) with the objective of promoting greater integration of the natural gas sector and the commercialization of electric energy, having as a model and case the technological advances observed in the ethereum network

Rodrigo Pereira Botão¹

Hirdan Katarina De Medeiros Costa²

Sumário: 1. Introdução. 2. Metodologia. 3. O Ambiente de Contratação Livre no Brasil. 4. A Eficiência Energética no Setor Elétrico. 5. A Descentralização e a Tecnologia Blockchain 6. A Aplicabilidade da Tecnologia. 7. Os Contratos Inteligentes. 8. O Uso da Tecnologia Blockchain no Mercado Livre de Energia. 9. Conclusão. Bibliografia.

Resumo: A tecnologia de blockchain tem se apresentado como disruptiva, pois incentiva a criação de ecossistemas que permitem transações de ativos digitais de forma descentralizada, sem a necessidade de intermediação de terceiros, o que contribui na melhoria da transparência e segurança da informação, e gera maior poder de escolha e negociação entre as partes interessadas. No âmbito energético, o movimento de transição energética nos países e a necessidade de descarbonização da indústria nacional podem ser impulsionados através da utilização de fontes energéticas de origem renováveis. Desta forma, a digitalização de energia amplia as aplicações possíveis da tecnologia blockchain e dos contratos inteligentes, que possuem uma funcionalidade simples como uma máquina de venda automática e podem por exemplo envolver medidores que autorizam a liberação de energia para consumidores residenciais somente quando estes realizarem o pagamento para o fornecedor de eletricidade, ideia similar já em operação por uma start-up (Sun Exchange) localizada no sul da África. Esta tecnologia possui capacidade de rastreabilidade quanto à proveniência da eletricidade produzida e pode fornecer aos consumidores informações sobre seu mix de eletricidade, mesmo em locais em que a eletricidade é comercializada através de um provedor de serviços públicos intermediário. O uso de blockchain e contratos inteligentes permitem a operação de redes de distribuição de eletricidade no modelo ponto a ponto (p2p), potencialmente tornando os fornecedores de serviços públicos agentes coadjuvantes, e menos relevantes em seu papel tradicional de fornecedores de energia. Neste contexto, este artigo se propõe a demonstrar possibilidades de utilização da tecnologia de blockchain e contratos inteligentes para promover maior integração entre o mercado de gás e o setor elétrico nacional através da aplicação tecnológica no ACL (ambiente de contratação livre de energia), permitindo negociações mais rápidas, seguras e transparentes. Ainda, esta pesquisa utilizará como modelo comparativo os avanços já observados na rede Ethereum que vem apresentando soluções consistentes na utilização das tecnologias citadas.

Palavras-chave: mercado livre de energia; blockchain; contratos inteligentes; Ethereum.

¹ Doutorando em Energia, USP. Mestre em Energia & Ambiente (UFMA). Bacharel em Economia (UFMA)
rodrigobotao@usp.br

² Mestre em Energia e Doutora em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (PPGE/USP). hirdan@usp.br

Abstract: Blockchain technology has been presented as disruptive, as it encourages the creation of ecosystems that allow transactions of digital assets in a decentralized way, without the need for third-party intermediation, which contributes to improving transparency and information security, and generates greater power, choice and negotiation between interested parties. In the energy field, the energy transition movement in countries and the need to decarbonize the national industry can be boosted through the use of renewable energy sources. In this way, energy digitization expands the possible applications of blockchain technology and smart contracts, which have a simple functionality like a vending machine and can, for example, involve meters that authorize the release of energy to residential consumers only when they perform the payment to the electricity supplier, a similar idea already in operation by a start-up (Sun Exchange) located in southern Africa. This technology has the ability to trace the origin of the electricity produced and can provide consumers with information about their electricity mix, even in places where electricity is traded through an intermediary utility provider. The use of blockchain and smart contracts allow the operation of electricity distribution networks in the peer-to-peer (p2p) model, potentially making utility providers a supporting actor, and less relevant in their traditional role as energy providers. In this context, this article proposes to demonstrate possibilities of using blockchain technology and smart contracts to promote greater integration between the gas market and the national electricity sector through technological application in the ACL (free energy contracting environment), allowing negotiations faster, safer and more transparent, this research will use as a comparative model the advances already observed in the Ethereum network that has been presenting consistent solutions in the use of the mentioned technologies.

Keywords: free energy market; blockchain; smart contracts; Ethereum.

1. Introdução

Do ponto de vista da oferta, o conceito principal de eficiência energética consiste em conseguir gerar a mesma quantidade de energia com uma menor quantidade de recursos. Em relação a demanda que consiste no uso final da energia gerada, a redução pode acontecer através de incentivos regulatórios, tarifários ou de custos que impactem no menor consumo desta energia, ou seja, a utilização racional da energia elétrica proveniente dos diversos sistemas da rede geradora, como exemplo de áreas de aplicação tem-se a iluminação, os motores, a cogeração nas indústrias e a climatização.

Nos últimos anos, tem ocorrido um movimento de descentralização da geração de energia com o intuito de aumentar a eficiência energética, observado com o aumento da injeção na rede de distribuição. Dentre as formas de injeção desta energia tem-se como exemplo os sistemas fotovoltaicos. Essas tecnologias tem impacto na rede de distribuição de energia elétrica, e na geração distribuída devido à oferta e demanda de energia elétrica envolvidas.

As diversas formas de introjetar ou demandar energia na rede podem ser transacionadas de forma segura e eficaz, por meio da digitalização, especificamente pela tecnologia blockchain. O blockchain consiste em um livro razão de blocos onde cada bloco contém um conjunto de transações validadas. De maneira geral, a tecnologia blockchain utiliza criptografia para verificar se as transações são válidas, e a ferramenta de consenso serve para evitar gastos duplos e incentivos financeiros e impedir fraudes. Com o blockchain, o objetivo é tornar os sistemas transparentes e seguros (ANDONI, 2020).

Neste artigo será abordada a possibilidade de utilização desta tecnologia para tornar o ambiente de contratação livre de energia no país mais eficiente, seguro e transparente em termos de negociação de preços dos contratos bilaterais.

2. Metodologia

Este artigo utilizou-se da metodologia de pesquisa descritiva com base na análise documental e na abordagem qualitativa na interpretação dos dados e das informações encontradas. A pesquisa descritiva tem como finalidade descrever as características de um certo fenômeno e através disto construir relações entre as variáveis analisadas (GIL, 2002). Os autores Martins e Theóphilo (2007) observam que a análise documental consiste na busca sistemática por documentos e informações que sejam o alicerce na coleta de informações, dados e evidências. A pesquisa qualitativa tem como base a descrição, preocupada na busca por descrições, compreensões e interpretações dos fatos.

Em relação ao modo, essa pesquisa pode ser classificada como bibliográfica e documental, uma vez que o material de pesquisa utilizado foram informações de players, cases de tecnologia e agentes do setor, geralmente disponibilizados em seus sites oficiais. Essa pesquisa caracteriza-se por utilizar dados disponibilizados antes do estudo. Quanto à abordagem, essa pesquisa pode ser classificada como qualitativa, pois foi realizada uma análise de conteúdo dos artigos e dados pesquisados, considerando as atualidades do mercado de energia elétrica e os projetos de aplicação da tecnologia aqui analisada (GIL, 2002).

3. O Ambiente de Contratação Livre no Brasil

A negociação e comercialização da energia elétrica passou a ocorrer através de dois ambientes distintos: o ACR, um mercado mais estável no fornecimento de energia, com garantia adicional de fornecimento a consumidores cativos; e o ACL, um mercado destinado a consumidores livres e empresas de comercialização, que apresentam uma maior amplitude concorrencial. Trata-se de um segmento neste mercado menos regulada e mais aberto à iniciativa privada, ou seja, não é uma atividade explorada mediante outorga.

O Ambiente de Contratação Regulada (ACR), foi criado para as usinas de geração já existentes e para as novas plantas de geração; e em segundo, o Ambiente de Contratação Livre (ACL), para negociações de energia elétrica através de contratos bilaterais negociados de forma livre entre as partes, ou seja, no ambiente regulado, as distribuidoras compram através de leilões de energia da ANEEL, onde a energia tem objetivo de suprir os consumidores cativos, nos termos da regulação da ANEEL, sem possibilidade de negociar o preço e sujeitas às tarifas fixadas pela agência nos leilões. Já no ambiente livre, os comercializadores (agentes aderidos à CCEE) e consumidores negociam livremente o preço da energia, além de prazos, indexação e montante para consumo.

No setor de energia elétrica, a liberdade de escolha dos fornecedores incentiva a redução de preços, visto que neste ambiente o preço tende a ser inferior ao praticado no mercado regulado, onde estão, necessariamente, vinculados os consumidores cativos das distribuidoras. O Mercado Livre de Energia possui duas categorias de consumidores: especiais e livres. O primeiro grupo, consumidores especiais, é formado por consumidor livre vários consumidores livres juntos por interesses em comum de fato ou de direito, onde a carga seja maior ou igual a 500 kW, e que tenha comprado a energia na forma do art. 26, § 5º, da Lei nº 9.427/1996.10.

No segundo grupo, os consumidores livres, já citados anteriormente, podem decidir pelo fornecedor de energia elétrica que desejarem, negociando condições favoráveis, conveniente às suas necessidades de contratação de energia, como o preço, o prazo e o local de entrega da energia contratada, dentre outras condições. Até meados de 2019, os consumidores livres possuíam demanda contratada acima de 3.000 kW. Os especiais tinham volume entre 500 e 3.000 kW. Ocorre que o mercado de eletricidade passa por um processo de abertura gradual.

4. A Eficiência Energética no Setor Elétrico

O crescimento do ACL demonstra que o setor de energia está em fase de mudança e as tecnologias que tem sido utilizadas contribuem para a eficiência tanto do lado da demanda quanto da oferta, e assim existem alguns desafios ligados à integração de fontes de energia renováveis que se distribuem ao longo do sistema de energia centralizado. Neste cenário, a *Internet of Things* (IOT) e a tecnologia de blockchain estão agindo como ferramentas que facilitam a criação de um sistema energético descentralizado e mais democrático. A tecnologia de blockchain tem sido utilizada em aplicativos no setor de energia como uma forma de solucionar questões relativas à segurança e a transparência, bem como a melhoria da eficiência do processo através da criação de um conceito de autoridade descentralizada, que beneficia todas as partes interessadas.

A dependência por combustíveis fósseis no Brasil e a necessidade de transição energética mundial têm incentivado os tomadores de decisão a diminuírem a emissão de carbono de suas operações e plantas, neste movimento de utilização de economia mais limpa abre-se a possibilidade de uso de tecnologias que possam acelerar este processo e tornar os ambientes de negociação e definição de preço mais livres e transparentes, que é onde se encaixa a tecnologia de blockchain e dos contratos inteligentes.

5. A Descentralização e a Tecnologia Blockchain

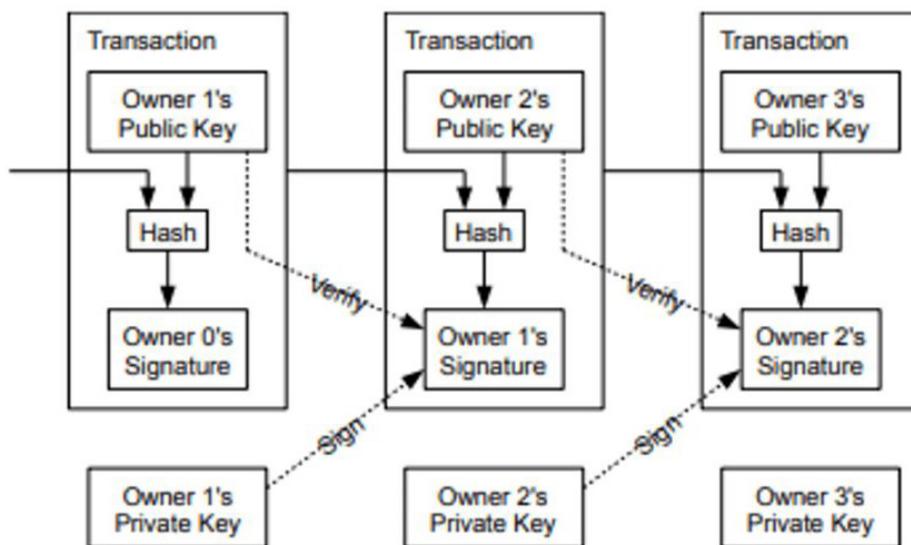
A tecnologia blockchain surgiu como solução na revolução digital do setor de energia e vários pesquisadores tem identificado o potencial de blockchain para o mercado de energia no mundo. Com capacidade de transformar a forma como pessoas e empresas têm se envolvido no setor de energia nos últimos anos. Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) e blockchain vem se tornando ferramentas facilitadoras essenciais para a descentralização, digitalização e democratização deste setor, com o objetivo de dar poder aos consumidores de energia para monitorar e controlar suas necessidades específicas quando precisam consumir uma certa quantidade de energia esperada (KHATOON et. al., 2019).

Blockchain é uma tecnologia de razão distribuída que é gerenciada por pares em um ponto a ponto na rede, o chamado P2P (peer to peer). Essa tecnologia existe sem um administrador central ou armazenamento de dados centralizado. Estes dados podem ser espalhados por vários sites e a qualidade dos mesmos é mantida através da replicação e criptografia no banco de dados. Em 31 de outubro de 2008, o conceito de blockchain passou a existir por meio da elaboração de um white paper, escrito por uma pessoa, ou grupo com o pseudônimo de Satoshi Nakamoto (NAKAMOTO, 2008).

Inicialmente, a ideia serviu para proporcionar transações de bitcoin, uma espécie de “moeda digital” em uma plataforma onde os pagamentos online podem ser enviados diretamente de um par para outro sem depender de uma instituição financeira para validar a transação. Sua ideia principal era desenvolver um sistema confiável que resolvesse o problema de gasto duplo usando uma tecnologia de razão distribuída ponto a ponto (p2p) realizada por um computador com capacidade de gerar prova da ordem cronológica das transações.

O termo blockchain corresponde a uma cadeia de blocos em que cada bloco armazena um grupo de informações sobre passado, presente e futuro da operação. Cada bloco apresenta uma chave na conexão com o bloco anterior (hash), e com o bloco posterior, assim que ele entra no sistema, para fazer parte da cadeia. A principal função de cada bloco é registrar, validar e distribuir as transações entre outros blocos, que utilizam a tecnologia de hash como validação. Logo, um bloco na cadeia não pode ser retirado ou alterado, pois esta operação não permitiria alterar o bloco subsequente. Um diagrama de blocos simples foi mostrado na Figura 1 para entender o conceito básico de blockchain, onde está demonstrado a finalidade e as informações contidas em cada (NAKAMOTO, 2008).

Figura 1 – Modelo de Blockchain



Fonte: CHAGAS, 2019.

Além disso, também facilitará a capacidade dos consumidores de energia de monetizar seu excesso de energia, que pode ter vindo da geração ou da energia economizada. Este artigo irá explorar a aplicação da tecnologia blockchain com o intuito de solucionar os dilemas do mercado atual em termos de eficiência energética e propõe um sistema de contratos inteligentes para o comércio de certificados de economia de energia em uma plataforma com grau de confiabilidade que permita a transação digital segura e sem a necessidade de intermediadores (CHAGAS, 2019).

A inovação atual existente em tecnologias digitais e o aumento do interesse dos consumidores em maior grau de eficiência energética estão permitindo oportunidades significativas de transição para um sistema de energia com menor impacto ambiental e baixo carbono. Recentemente, as tecnologias de blockchain tornaram-se relevantes no setor de energia por permitir transações mais seguras, transparentes e sustentáveis. Ainda, há uma discussão extensa no contexto do comércio de energia que utiliza ferramenta P2P e há ainda uma série de artigos disponíveis que descrevem esta ideia. No entanto, o blockchain ainda é apenas um conceito em termos de sua aplicação à eficiência energética e com grande potencial para ser explorado.

6. A aplicabilidade da tecnologia

A tecnologia blockchain, em termos de aplicação prática no setor de energia elétrica já ocorre na compra e venda de energia elétrica nos chamados *smartgrids*³, também na geração distribuída, nos veículos movidos a eletricidade e no chamado *smart home*. O autor Andoni identificou aproximadamente 140 projetos de inovação em blockchain e também iniciativas científicas no setor energético, sobre comércio de energia descentralizado, que inclui iniciativas de comércio por atacado, varejo e negociação de energia por meio do P2P. Uma outra categoria são as de criptomoedas, tokens e investimentos, onde estão a maioria dos casos (ANDONI, 2020).

Dentre outros projetos pilotos que utilizam o blockchain, na Irlanda, o autor Verma analisa o "EnerPort", um projeto colaborativo gerido pelo Centro Internacional de Pesquisa Energética da Irlanda, em parceria com a Universidade Nacional da Irlanda em Galway e a University College Cork, neste caso a tecnologia blockchain tem como uso final o desenvolvimento de um modelo de comércio de energia baseado no Ponto a Ponto (P2P) com o intuito de impulsionar o comércio de energia entre micro redes.

³ As Smart Grids consistem em automações e tecnologias que tem a finalidade, de conferir segurança, comodidade e sustentabilidade quanto ao fornecimento de energia. Os novos modelos de demanda de energia elétrica exigem redes de distribuição mais complexas.

O autor Mengelkamp realizou um estudo sobre o projeto de microrrede do Brooklyn na cidade de Nova York, com funcionamento por três anos seguidos, considerado o sistema pioneiro que utiliza P2P e blockchain e que apresentou resultados relevantes quanto a aplicabilidade e funcionalidade. O Brooklyn Microgrid engloba em torno de quinhentos consumidores que compram, vendem e negociam energia em tempo real através de um aplicativo de celular com atuação e foco no mercado local, onde é possível escolher entre o mercado livre local e a concessionária (MENGELKAMP et.al., 2018).

Neste caso, a tecnologia blockchain tem a função primordial de enviar valor, geralmente expressa em uma moeda digital, de qualquer lugar do mundo para qualquer outro ponto. A energia, por outro lado, é física. Como uma tecnologia que move e armazena dados, o blockchain em si não é capaz de gerar, armazenar, transportar e fornecer energia ou substituir as redes elétricas. Ainda assim, a digitalização de energia traz possibilidade de aplicações com blockchain e através dos contratos inteligentes. A operação é simples como uma máquina de venda automática e envolvem medidores que só liberam energia para consumidores residenciais, uma vez que transferem dinheiro para o fornecedor de eletricidade, ideia criada pela *start-up* sul-africana denominada Bankymoon (KHATOON et al., 2019).

A tecnologia possibilita rastrear a proveniência da eletricidade produzida e fornecer aos consumidores informações sobre seu mix de eletricidade, mesmo onde a eletricidade é vendida através de uma concessionária de serviços públicos como intermediário. O blockchain e os contratos inteligentes geram eficiência e facilidade na operação de redes de distribuição de eletricidade no modelo ponto a ponto, potencialmente transformando os fornecedores de serviços públicos em coadjuvantes ou menos relevantes em seu papel tradicional como fornecedores de energia e como tomadores de decisão.

7. Os Contratos Inteligentes

O contrato inteligente consiste em um código que é instalado no blockchain e funciona como um sistema que coleta, armazena e envia valores e informações, por exemplo, gerar uma ação quando determinados parâmetros forem encontrados. Os contratos inteligentes estendem a tecnologia do blockchain para funções comerciais mais amplas. A plataforma de contratos inteligentes fornece uma estrutura de implementação de aplicativos possíveis com base em blockchain de forma sólida e com confiança. Alguns pesquisadores e profissionais tem tentado adotar o blockchain para se beneficiar em suas áreas, como na cadeia de suprimentos e nas finanças.

Dentre as aplicações de blockchain, o comércio de energia elétrica nos moldes do P2P tem destaque por ser uma aplicação de grandes possibilidades, devido os pontos abaixo:

1) A negociação via P2P e a capacidade de registro do consenso são possíveis com o uso da blockchain, que consiste em um sistema distribuído naturalmente projetado para este tipo de interação. Em um sistema de negociação P2P, os participantes podem definir seus próprios comportamentos e interagir com outras pessoas. Em comparação a rede tradicional, todas as ações centralizadas, como transmissão de energia, tarifação e liquidação, podem ser customizadas. Enquanto isso, todas as atividades dos usuários finais podem ser registradas de forma confiável, sem a necessidade de intermediação de terceiros ou de instituições financeiras (NAKAMOTO, 2008).

O blockchain permite a redução do limite de participação no mercado de eletricidade para os varejistas locais. A infraestrutura da rede exige altos investimentos de recursos, bem como intensa operação e custo de manutenção, gerando barreiras à entrada nas pequenas empresas. A tecnologia blockchain permite a captação de recursos de investidores e até mesmo de usuários finais. Todos os participantes serão proprietários parciais e podem se beneficiar de infraestruturas de rede representadas pelos tokens neste sistema, que consistem em uma certificação de direito e também podem ser utilizados para compra e venda.

Além disso, o uso da tecnologia blockchain diminui o custo de operação diária através de um sistema descentralizado e sem intermediação. Portanto, os usuários finais podem atuar de forma ativa na venda de energia, precificação e liquidação na comercialização de energia elétrica, gerando maior vitalidade e concorrência nesses mercados.

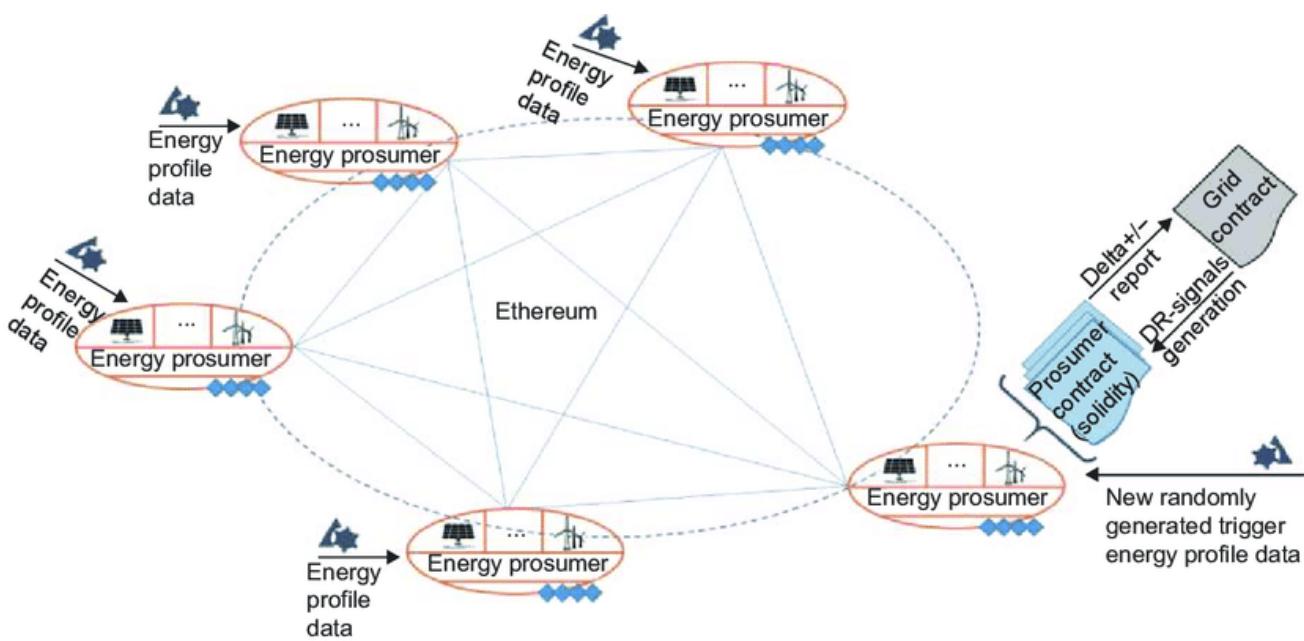
O contrato inteligente é uma plataforma criada para que as novas tecnologias sejam implementadas no sistema de comercialização de energia P2P. Novos paradigmas, como resposta à demanda, mecanismos de leilão e consumo programado de energia, exigem uma estrutura para suportar a circulação síncrona de informações e valores contratuais com sistemas automatizados e ações tomadas em nome do usuário que irá negociar a compra e venda de energia. O contrato inteligente oferece recursos abundantes para atender a esses requisitos, como comportamentos programáveis de usuário e ainda com a capacidade de criar registros de transações de forma transparente e confiável (CHAGAS, 2019).

8. O Uso da Tecnologia Blockchain no Mercado Livre de Energia.

Para tornar o blockchain funcional e viável no setor de energia, é necessário reduzir as barreiras para a implantação da tecnologia. A complexidade, a incerteza e falta de padrões da tecnologia do blockchain tornam a adoção mais complexa. Enquanto o blockchain do Bitcoin é considerado seguro, blockchains que permitem a implementação de contratos inteligentes complexos têm mais vulnerabilidades. Por exemplo, o mais conhecido e robusto blockchain programável é o da rede Ethereum (Figura 2).

Assim, pequenos erros de programação em contratos inteligentes podem torná-los vulneráveis a ataques cibernéticos. Caso a rede P2P apresente alguma falha, a segurança do fornecimento estará em risco. A natureza descentralizada da rede torna quase impossível determinar quem é responsável por erros em uma blockchain pública. Desta forma, os algoritmos criptográficos passam a ser responsáveis pela segurança da blockchain.

Figura 2 – Modelo de simulação de blockchain e smartcontracts



Fonte: Buterin, 2013

Vulnerabilidades desconhecidas nos algoritmos ou em sua implementação não podem ser excluídas no futuro. Embora não esteja claro se um computador quântico poderoso capaz de quebrar criptografia de última geração existirá, tal computador pode representar uma ameaça caso ele exista de fato. Do ponto de vista da proteção de dados, pode não ser seguro armazenar dados criptografados de maneira centralizada. Afinal, todos os participantes da rede podem armazenar temporariamente os dados em suas instalações e há também a facilidade em decifrá-los ao longo de muitos anos. No

entanto, se esse perigo se tornar realidade, o blockchain poderá mudar para algoritmos criptográficos quânticos mais seguros. Neste caso, o risco então existiria apenas para os dados antigos.

A tecnologia blockchain da rede Ethereum complementa os princípios do Bitcoin indo além do conceito financeiro, adicionando a possibilidade de construir os chamados DApps⁴ com base em um recurso computacional único. Esta rede inicia a transição para a segunda geração de desenvolvimento do blockchain. O objetivo principal da rede Ethereum é fornecer um sistema para facilitar as transações entre os indivíduos por meio de um algoritmo de acordo autônomo que funciona como um agente fiduciário imparcial.

A Ethereum é considerada uma máquina baseada em transação, uma vez que apenas o bloco final é aceito como a versão válida da rede blockchain, não importa como o bloco gênesis foi definido e sim como as próximas transações foram modificando-o até o último bloco. Cada bloco é composto por uma informação computacional, enquanto cada transação representa a ligação entre dois blocos.

No entanto, nem todo bloco é válido devido as más práticas de desenvolvimento para lidar com as restrições. A alternativa para resolver este problema é cobrar por cada transação, portanto os desenvolvedores precisam cuidar de seus códigos DApp para executá-los de maneira mais econômica e bem-sucedida, ou seja, para evitar o pagamento de uma transação inválida, pois os cálculos programáveis estão sujeitos a cobrança de taxas (WOOD, 2016, p.7).

Outra diferença entre estes dois blockchains é que as transações da rede Ethereum consideram as operações de saída do contrato inteligente, ou exceções, além de qualquer informação sobre criação e transferência dos Ethers. Assim, a estrutura do bloco é formada por um mapeamento entre endereços e estados de conta. O primeiro é criptograficamente dependente do último e o hash pode ser usado como uma identidade segura para todo o sistema (WOOD, 2016, p.3). Enquanto os endereços são mantidos na cadeia de rede, os dados de estrutura permanecem em um banco de dados subsequente, isto torna a rede mais segura e ágil.

9. Conclusão

Embora o conceito do blockchain ainda seja associado a criptomoedas como o Bitcoin, sua usabilidade em diferentes contextos e setores foi considerada tanto em trabalhos teóricos quanto por meio empírico. Uma das áreas onde há grande possibilidade de utilização dos sistemas de blockchain é no setor de energia, onde esta tecnologia pode mostrar uma resposta mais eficaz a alguns dos principais desafios atuais, como um incentivo a descentralização e a democratização.

Embora o blockchain ofereça muitas vantagens devido à sua segurança, transparência e flexibilidade, existem várias desvantagens e riscos, tanto no nível do sistema, relacionados às exigências do setor de energia, e quanto a própria tecnologia. Embora os desafios relacionados à tecnologia sejam representativos para a relativa novidade do conceito e muitos deles sejam solucionáveis, pelo menos em princípio, onde encontrar soluções para os desafios de nível de sistema dependerá fortemente dos incentivos atuais e futuros e das tendências do mercado de energia elétrica.

As configurações dos sistemas de energia em blockchain apresentam desempenho similar ou são adequadas para a mesma configuração. Por exemplo, enquanto um mercado público de energia com blockchain representaria uma configuração mais desejável em termos de transparência e negociações entre consumidores, tal mercado pode dificilmente ser viável de forma mais pragmática, ao passo que os mercados de blockchain privados com potenciais mecanismos de controle centralizados já foram realizados, estes fornecem níveis menores de confiabilidade e transparência.

⁴ Um aplicativo descentralizado, que funciona em uma rede P2P descentralizada. Os DApps têm código fonte aberto e operam de maneira autônoma, independentemente de instituições ou intermediadores centrais.

No geral, o blockchain é um conceito complexo para o futuro dos sistemas energéticos locais, nacionais e internacionais, onde o sucesso depende das principais tendências sociotécnicas e trajetórias de desenvolvimento do setor de energia. Para influenciar essas trajetórias, os pesquisadores acadêmicos e profissionais da energia que estudam o conceito blockchain precisam combinar P&D com a implementação prática e as aplicações em um ambiente da vida real, demonstrando a utilidade e o desempenho do conceito na prática para as partes interessadas e tomadores de decisão relevantes. Do ponto de vista técnico e da tecnologia da informação, é necessário considerar o nível de segurança de cada projeto, pois a segurança cibernética é um tema que não deve ser negligenciado, principalmente no campo da utilização do mercado de energia com a ferramenta do blockchain.

No modelo do mercado livre de comercialização de energia atual no Brasil, a aplicação desta tecnologia considerando o modelo de comercialização de energia elétrica brasileiro proposto, utilizariam os dados necessários para contratação de energia que podem ser negociados via smart contracts entre o operador do sistema e o consumidor final da energia elétrica, tudo isso dentro da plataforma blockchain. Um exemplo possível seria realizar o envio dos dados de medição, ou sinais de controle, a serem enviados diretamente do consumidor para o operador do sistema. Além disto, outras formas de utilização da tecnologia de blockchain e contratos inteligentes podem ser criadas considerando o contexto do ACL aqui demonstrado, considerando as especificações e necessidades dos agentes que atuam neste mercado.

Agradecimentos

A pesquisadora Hirdan Katarina de Medeiros Costa agradece o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FIN-NEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). E, também, o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Bibliografia

- ANDONI, Merlinda et al. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S. I.], v. 100, p. 143–174, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.014>. Acesso em: 20 fev. 2020.
- BUTERIN, Vitalik et al. *Ethereum white paper*. GitHub repository, v. 1, p. 22-23, 2013.
- CHAGAS, Edgar Thiago de Oliveira. *Blockchain: a revolução tecnológica e impactos para a economia*. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 04, Ed. 03, Vol. 07, pp. 110-144. Março de 2019. ISSN: 2448-0959.
- GIL, Antonio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002
- KHATOON, Asma et al. *Blockchain in Energy Efficiency: Potential Applications and Benefits*. *Energies*, [S. I.], v. 12, n. 17, p. 3317, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en12173317>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- MENGELKAMP, Esther et al. Designing microgrid energy markets: A case study: *The Brooklyn Microgrid*. *Applied Energy*, [S. I.], v. 210, p. 870–880, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.054>.

- MARTINS, Gilberto de Andrade; THEÓPHILO, Carlos Renato. *Metodologia da Investigação Científica para Ciências Sociais Aplicadas*. São Paulo: Atlas, 2007.
- NAKAMOTO, Satoshi: *Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system*. 2008.
- VERMA, Piyush et al. EnerPort: Irish Blockchain project for peer-to-peer energy trading. *Energy Informatics*, [S. l.], v.1, n.1, p. 14, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s42162-018-0057-8>. Acesso em: 22 mar. 2020.
- WOOD, Gavin. *Ethereum: a secure decentralised generalised transaction ledger*. Online, 2016. EIP-150 REVISION. Also known as Yellow Paper. Available at: <<https://gavwood.com/paper.pdf>>. Accessed in 2017.
- ZHENG, Zibin et al.: An overview of blockchain technology: architecture, consensus, and future trends. In: *2017 IEEE International Congress on Big Data (Big Data Congress)*. IEEE. 2017.

Lições da transição energética alemã para o Brasil

Lessons from the German Energy Transition to Brazil

Rodrigo de Campos Rezende¹

Leonardo Freire de Mello²

Sumário: 1. Contextualização. 2. O modelo energético na Alemanha. 3. Lições do Energiewende. 4. Conclusão. 5. Bibliografia.

Resumo: A partir da Revolução Industrial a sociedade mundial assiste a um crescimento de população, produção e consumo de bens que não havia sido presenciado na história. Para que esses processos fossem possíveis, houve uma mudança de produção energética que passou a ser baseada em combustíveis fósseis, não renováveis, como o petróleo. Após 1940, a dependência em uma matriz energética fóssil acabou expondo os impactos ambientais e socioeconômicos desse desenvolvimento acelerado. De modo a evitar os impactos econômicos, sociais, e ambientais advindos de crises de abastecimento e instabilidade do cenário internacional, os países viram a necessidade de adotar uma matriz energética mais diversificada, com fontes renováveis. O programa de transição energética alemão, Energiewende, é considerado um modelo na União Europeia, e serve como padrão para outros países no mundo inteiro que estejam almejando uma geração energética com fontes renováveis. O presente trabalho teve a intenção de analisar o planejamento estratégico e políticas públicas para geração de energias renováveis adotadas pela Alemanha entre 2008 e 2021. Isto nos levou a compreender como este setor absorve e reelabora algumas propostas de reformulação da matriz, e como elas são incorporadas e/ou ressignificadas pelos planejadores em tempos de crises ou pandemias. Para tanto foram apresentados dados e aspectos das estratégicas das políticas energéticas do modelo alemão divididos em 5 pontos: (1) condições institucionais e desenvolvimento tecnológico para energias renováveis; (2) questões de segurança energética;(3) estruturas de financiamento público para a transição da matriz;(4) e mudanças ambientais. Diante dessas análises foi possível elencar as lições do modelo de transição energética alemã que outros países devem levar em consideração, de modo a facilitarem o processo interno na mudança para uma matriz mais limpa e consonante com os objetivos globais.

Palavras-chave: Antropoceno; segurança energética; energias renováveis; políticas públicas; transição energética.

Abstract: Since the Industrial Revolution, world society has witnessed a growth in population, production and consumption of goods which had not been witnessed in History. For these processes to be possible, there was a change in energy production that was based on non-renewable fossil fuels, such as oil. After 1940, dependence on a fossil energy matrix ended up exposing the environmental and socioeconomic impacts of this accelerated development. To avoid the economic, social, and environmental impacts arising from supply crises and instability in the international scenario, countries saw the need to adopt a more diversified energy matrix, with renewable sources. The German energy tran-

¹ M.Sc Rodrigo de Campos Rezende; UFABC, c.rezende@ufabc.edu.br.

² PhD Leonardo Freire de Mello, UFABC, leonardo.mello@ufabc.edu.br

sition program, Energiewende, is considered a model in the European Union, and serves as a standard for other countries around the world that are aiming for energy generation from renewable sources. The present work intended to analyse the strategic planning and public policies for the generation of renewable energies adopted by Germany between 2008 and 2021. This led us to understand how this sector absorbs and re-elaborates some proposals for the reformulation of the matrix, and how they are incorporated. and/or resignified by planners in times of crisis or pandemic. For that, data, and strategic aspects of the energy policies of the German model was presented and divided into 4 points: (1) institutional conditions and technological development for the development of renewable energies; (2) energy security issues; (3) funding structures for the matrix transition; (4) and environmental changes. Considering these analyses, it was possible to list the lessons of the German energy transition model that other countries should take into account, in order to facilitate the internal process in the change to a cleaner matrix, in line with global objectives.

Keywords: Anthropocene; energy security; renewable energy; public policy; energy transition.

1. Contextualização

"Uma nova forma de civilização, fundamental no aproveitamento sustentável dos recursos renováveis, não é apenas possível, mas essencial."

M. S. Swaminathan.

O Pacto Internacional de Direitos Econômicos, Sociais e Culturais, em seu art. 11, insere o direito de todos os indivíduos e famílias de possuírem um nível adequado de qualidade de vida. Conforme a citação de Swaminathan, o mundo precisa pensar em reorganizar sua civilização de forma mais sustentável para garantir esses direitos a todos. Isso inclui o direito de todas as pessoas ao acesso à energia para as atividades cotidianas. Entretanto, em 2016, mais de um bilhão de pessoas não tinham acesso à energia elétrica no mundo (REN21, 2017).

Os relatórios das Organizações das Nações Unidas (ONU) para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) apontam essa mesma preocupação e estipulam que uma infraestrutura energética inadequada leva à falta de acesso a mercados e postos de trabalho, que acabam gerando um acesso limitado a serviços de saúde, educação e aumento de risco de violência, sobretudo às mulheres(ONU BRASIL, 2018). É por isso que a ONU decidiu incluir no objetivo 7 da ODS o acesso à eletrificação com maior participação das energias renováveis que levem a um mix global de energias limpas com metas a serem alcançadas até 2030.

Contudo, dados recentes mostram que, apesar do aumento constante da participação de renováveis na matriz energética mundial desde 2011, houve nos últimos anos uma constância no consumo de fontes fósseis. Esse consumo foi principalmente de carvão nos países asiáticos e africanos, que desde 2007 apresentam um aumento de consumo para suprir suas necessidades de crescimento industrial. Dados mostram que importantes países, como Brasil e Rússia, também diminuíram a participação de renováveis em suas matrizes nos últimos anos. Isso nos deixa mais longe da meta estipulada para 2030 proposta no 7ODS da ONU e adotada pelos países signatários do Acordo de Paris (SOUZA; CORAZZA, 2017).

Por outro lado, a União Europeia aparece como um dos grandes atores na transformação energética mundial, fato esse por ter estipulado em seus objetivos que todos os países membros possuíssem uma proporção de 20% de energias renováveis em 2020. Outros objetivos foram ter 10% de energia renovável no setor de transportes, 20% de uso de energia mais eficiente, e 40% em reduções de gases do efeito estufa. A Alemanha seguindo as orientações da UE e outros organismos internacionais

ligados ao ambiente e desenvolvimento sustentável, é um dos países que mais se destaca e foi um dos primeiros países a alcançar as metas estipuladas pela UE na diversificação da matriz energética para 2020 ("Renewable energy statistics - Statistics Explained", [S.d.]) (EUROSTAT)

O mundo está passando por uma revolução de energia de fontes renováveis e os investimentos têm crescido a cada ano, com uma liderança ampla dos países desenvolvidos e, desde 2004, o mundo teve investimentos de U\$ 2.9 trilhões em fontes de energia limpa (UNEP; FRANKFURT SCHOOL, 2020)

Losekann et. al (2017) relatam que os recentes avanços tecnológicos juntamente com as questões climáticas transformaram as energias renováveis em escolha prioritária para a expansão de capacidade de geração elétrica (LOSEKANN; HALLACK, 2017)

As revoluções industriais dos séculos XVIII e XIX impulsionaram a busca por novas fontes de energia que fossem mais abundantes e eficientes pois havia a necessidade de maiores quantidades de energia para a produção industrial. A fonte primária de energia da matriz energética mundial, foi se diversificando ao longo da História de acordo com as mudanças econômicas e sociais pelas quais o mundo passou. O carvão foi, durante muitas décadas, a fonte primária mais preponderante até o surgimento da indústria do petróleo.

Após a invenção do motor a combustão e com a indústria automobilística em crescimento, a indústria petrolífera foi ganhando mais importância no mundo como fonte geradora de energia (YERGIN, 2011).

FUSER (2013) aponta que a procura por fontes alternativas de energia ingressou nas agendas políticas após os choques do petróleo, uma vez que ficaram evidentes os problemas da alta dependência de um único recurso energético fóssil. É também após esse período que é dada mais atenção aos estudos sobre o pico de produção de petróleo que levantam a possibilidade de escassez do recurso natural através de modelações de diversas variáveis (Oil Peak). Projeções feitas pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos também apontam a alta demanda energética necessária para suprir os EUA em 2030 e os dados esbarram exatamente no limite físico da extração (FUSER, 2013).

Há controvérsias de quando seria exatamente esse futuro pico do petróleo e as grandes empresas como EXXON MOBIL, BP, TOTAL têm realizado projeções periódicas sobre o tema, com base em estimativas dos recursos totais e da demanda de petróleo no mundo. Entretanto, há um ponto consonante entre todas as empresas e organismos internacionais ligadas ao setor de energia: a procura por outras fontes energéticas que garantam uma maior diversificação tem que ser intensificada para garantirmos uma maior segurança energética (QUEIROZ et al., 2007).

O próprio presidente americano Jimmy Carter, em 20 de junho de 1979, declarou que ninguém poderia embargar o sol, e por isso, os EUA deveriam investir em energia solar como uma fonte energética alternativa, e colocou uma meta de 20% de energia solar na matriz energética americana até os anos 2000. Embora a questão de investimentos em energias alternativas só tenha iniciado anos mais tarde, em 2004, o fato mostra a importância de energias renováveis para suprimento energético, segurança e mudanças ambientais (YERGIN, 2011).

Barack Obama, em seu mandato, foi quem mais investiu esforços para a mudança da matriz rumo aos renováveis. Segundo ele, "a nação que liderar o mundo na criação de novas fontes energéticas será a nação que irá liderar a economia global do século XXI".

As crises mundiais do petróleo ocorridas nas décadas de 1970 e os diversos conflitos atuais nos países exportadores do Oriente Médio têm pautado as estratégias de suprimento de energia na maioria dos países, os quais buscam suprir suas sociedades de energia a preços estáveis sem riscos de descontinuidade e de dependência externa, o que em resumo, seria uma definição da segurança energética. Desenvolver estratégias passa a ser, portanto, fundamental para uma estabilidade política.

As soluções para a segurança energética necessitam de maior cooperação internacional, e para, isso novos paradigmas devem ser desenhados com base nos avanços técnico-científicos, político e econômicos, e ser sustentados por investimentos públicos e privados que garantam a continuidade das pesquisas ao longo de décadas (KLARE, 2009). Isso só será possível através de uma grande abertura e transferência de conhecimento, tecnologia e capital entre os países a fim de garantir que o desenvolvimento e o acesso às novas tecnologias possam ocorrer amplamente tanto nos países do Norte quanto no Sul Globais.

Com a introdução de aspectos de mudanças ambientais globais, o conceito de segurança energética ganha outro viés, onde cooperação energética e geopolítica podem caminhar juntas (MOUSI-NHO et al., 2017).

Ao se falar de mudanças ambientais é importante retomarmos o conceito de Holoceno, que foi um período de estabilidade ambiental referente aos últimos 11 mil anos da história terrestre. Todavia, uma grande mudança se iniciou com a Revolução Industrial, ganhando fôlego ao longo da aceleração demográfica e econômica e tecnológica ocorrida depois de 1940, a qual é considerada por vários autores e pesquisadores como uma nova era geológica: o Antropoceno (FREIRE DE MELLO et al., 2020).

Viola (2016) afirma que o Antropoceno é a nova e atual época geológica em que essa estabilidade está sendo progressivamente perdida por conta da atuação da humanidade, que se tornou o principal responsável pelas mudanças no sistema planetário. Para o autor, o fim dessa estabilidade ambiental leva a necessidade de repensar as questões dos limites do planeta, para que não se chegue ao fim da espécie humana (VIOLA; BASSO, 2016).

Há alguns estudos que apontam que o Antropoceno inicia com a ultrapassagem dos limites geobiofísicos do planeta, que vieram principalmente com a superexploração dos combustíveis fósseis, utilizados para gerar o desenvolvimento moderno após a Revolução Industrial (ROCKSTRÖM et al., 2009).

Partindo das dimensões políticas e sociais sobre as mudanças ambientais Ferreira (2016) enfatiza o papel dos governos como sujeitos capazes de propor novas formas de governança que possam reduzir os efeitos climáticos no planeta. Por isso, a transposição da agenda climática para a esfera política pode ser considerada como a primeira resposta ao desafio. Além disso, a participação pública, através de uma transformação no estilo de vida e na forma de consumo, é abordada como essencial para mitigar os danos das mudanças ambientais globais (FERREIRA; MARTINELLI, 2016).

A produção de energia, em termos mundiais, é apontada como um dos principais fatores antropogênicos a gerar mudanças ambientais no planeta. O Protocolo de Kyoto (1997) e o Acordo de Paris (2015) são dois acordos que buscam fazer frente a tais desafios e implementar os objetivos das Organizações das Nações Unidas (ONU) para combater as mudanças ambientais no mundo.

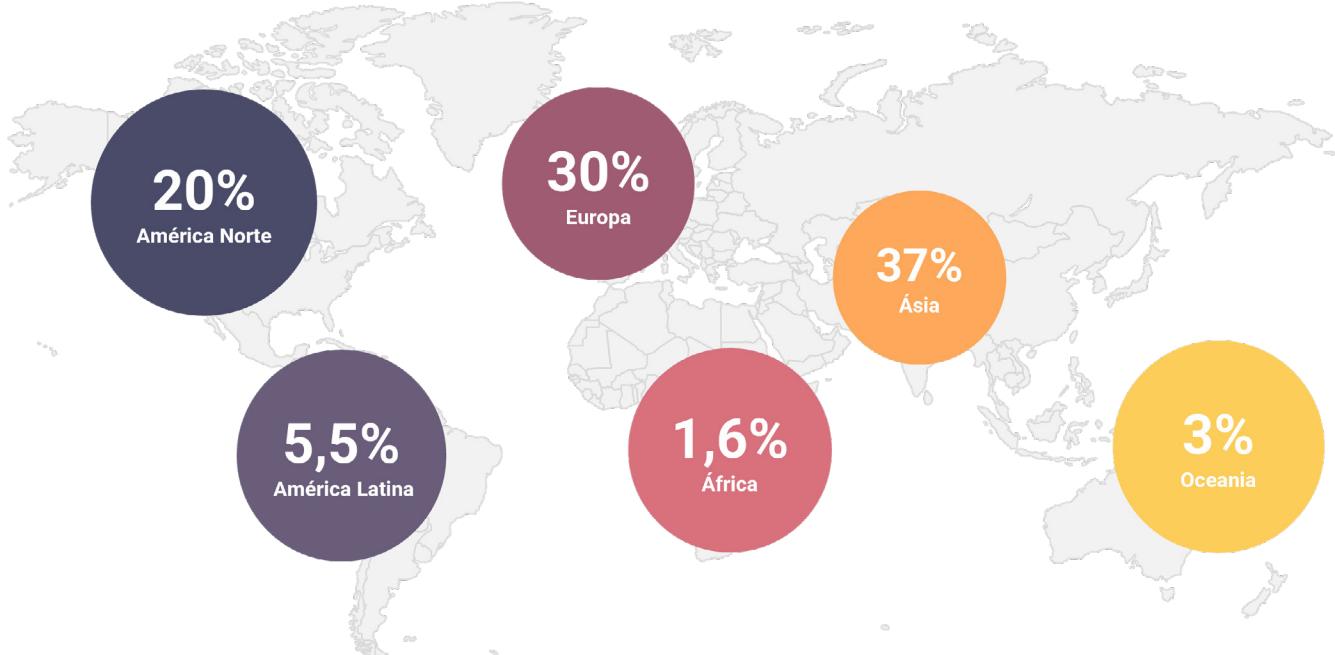
A busca de respostas para um desenvolvimento que assegure a sustabilidade socioeconômica, a mitigação do aquecimento global e a segurança energética, encontra barreiras quanto à necessidade de enfrentar os mecanismos de transformação da própria sociedade dominante. Porém, a sobrevivência de nossa espécie depende dessa transposição para um Desenvolvimento Sustentável.

A definição de Desenvolvimento Sustentável proposta por Sachs (2007) traz à tona a relação de cooperação necessária entre Norte e Sul Globais. Para ele, há a necessidade de reduzir o padrão de consumo da sociedade, mas também é importante que o sul se desenvolva e diminua as diferenças sociais de sua população (SACHS, 2007).

Nessa linha de pensamento Prebisch traz a questão histórica de desenvolvimento lançando a tese centro-periferia, expondo as lógicas do sistema desenvolvimentista com a inserção passiva dos países do sul no processo de industrialização (PREBISCH, 1949).

Ao analisarmos a Figura 1 podemos perceber que o Norte Global tem uma maior participação de renováveis na matriz energética e que nos traz para a indagação dos motivos que levaram a tamanha diferença de utilização de fontes renováveis e se elas serão perpetuadas pelos investimentos provenientes de países e instituições do Norte Global

Figura 1: Participação de Energias Renováveis por Continente



Fonte: *Bp Statistics* e agrupamento de dados pelo próprio autor³ (BP, 2021)

Mais do que entender os motivos destas diferenças é necessário descobrir os caminhos de cooperação entre os países que poderão nos ajudar a combater os desafios das mudanças ambientais globais. Por isso, os países do Sul Global podem aprender lições a partir do modelo de transição alemão.

O Desenvolvimento Sustentável é um desafio planetário que requer estratégicas políticas e econômicas complementares entre o Norte e o Sul para que tenhamos um planejamento preocupado com as questões ambientais, sociais e tenham a segurança energética e as energias renováveis em pauta.

Os eventos advindos da pandemia de Covid-19 em 2020 servem para ilustrar como a segurança energética e energias renováveis são vitais para a economia mundial. O efeito da pandemia sobre o PIB mundial é uma situação pior do que o mundo viu com as grandes recessões históricas, como por exemplo durante a Depressão de 1930, o 1º e 2º Choque do petróleo e a Crise Econômica de 2008 (MOUSAZADEH *et al.*, 2021).

A pandemia tem o potencial de alterar a prioridade das políticas e orçamentos governamentais, as decisões de investimento dos desenvolvedores e a disponibilidade de financiamento. Ao mesmo tempo, vários países estão introduzindo programas de estímulo significativos para responder à atual crise econômica e apoiar suas economias. Algumas dessas medidas de estímulo podem ser relevantes para as energias renováveis. Agências especializadas têm enfatizado novamente que as tecnologias renováveis podem oferecer benefícios estruturais, como desenvolvimento econômico e criação de empregos, além de reduzir emissões e promover a inovação tecnológica, e serem uma saída para a crise atual (MCKINSEY & COMPANY, 2020).

O principal plano de reorientação do setor energético alemão, *Energiewende*, será o guia, nesse artigo, para compreendermos as políticas públicas alemãs que levaram à mudança acelerada do setor, nos últimos dez anos, alterando a matriz energética com a inclusão de maior participação de fontes renováveis.

³ Dados baseados na geração bruta de fontes renováveis, incluindo eólica, geotérmica, solar, biomassa e resíduos, excluindo a hidroeletricidade.

2. O modelo energético na Alemanha

Na União Europeia (UE) as estratégias para desenvolver a política energética do bloco tiveram as primeiras diretrizes em 1995, com o plano de ação intitulado: “*Energy Policy for the European Union*”. Em 2007 um novo documento, chamado de “Plano de Ação em Matéria de Energia e Mudanças Climáticas”, foi aprovado pelo Conselho Europeu abordando três pilares para a transformação energética: combate as alterações climáticas, redução da dependência de importações de combustíveis fósseis e promoção de desenvolvimento econômico. Esse acordo tinha como objetivo atingir em 2020: 20% de aumento da eficiência energética; 20% de redução das emissões de gases de efeito estufa; 20% de aumento na participação de energias de fontes renováveis até 2020 (PARLAMENTO EUROPEU, 2020).

A partir destes pilares, a União Europeia iniciou uma série de investimentos na criação de políticas de ampliação das novas fontes renováveis de energia que levassem a uma maior eficiência energética e o desenvolvimento de novas tecnologias (FGV, 2016).

Na Alemanha, o desenvolvimento das fontes renováveis de energia começou, principalmente, a partir das crises do petróleo (1973-1974 e 1979-1980), e do acidente nuclear de Chernobyl em 1986 na Ucrânia. Tais questões demarcaram o envolvimento da população com a questão ambiental e suscitaram discussões quanto às novas formas de geração de energia (APPUNN, 2015).

No entanto, a aceleração da transição energética alemã realmente tem seu início apenas após o acidente de Fukushima no Japão em 2011, pois a partir deste, o papel atribuído à energia nuclear na geração de energia foi reavaliado e as sete maiores usinas nucleares foram fechadas permanentemente. Além disso, neste mesmo período o governo decidiu eliminar a operação das outras usinas restantes até 2022 (APPUNN, 2015).

Outro alvo dos comprometimentos do governo alemão foi o abandono gradual das usinas termelétricas movidas a carvão mineral até o ano de 2038. Tida como uma das maiores causadoras de emissões de dióxido de carbono e prejudicial ao clima, a energia proveniente do carvão mineral é parte crucial para que o país cumpra seus objetivos climáticos de longo prazo (UNNERSTALL, 2017).

O governo alemão, portanto, pretende ampliar os modelos de energias alternativas, visando a tornar-se o primeiro país autossuficiente em energia do planeta em 2040. Ou seja, em apenas três décadas, espera-se que o abastecimento de energia do país passe a ser suprido por uma matriz energética variada e limpa, com descentralização das unidades geradoras e aproveitamento do potencial energético local (IEA, 2021).

Os objetivos traçados pela UE, e ratificados no Acordo de Paris, são dependentes dos cumprimentos da Alemanha, devido à sua expressividade dentro do bloco. Para que esses objetivos sejam alcançados é necessário que o governo alemão implemente medidas que compreendam todos os setores econômicos e fomentem o desenvolvimento de novas tecnologias que sejam capazes de gerar energia de forma mais eficiente e limpa, além de reduzir o consumo de eletricidade, sem prejudicar o desenvolvimento econômico (UNION, 2020).

Esse cenário traduz o amplo progresso tecnológico das fontes renováveis na Alemanha nos últimos 10 anos, colocando-a entre os líderes de tecnologia dos setores ambientais de geração energética, como energia eólica e fotovoltaica. Houve, também, um fortalecimento da indústria através de investimentos em pesquisas, de modo a reduzir as emissões de gases de efeito estufa (UNNERSTALL, 2017).

2.1 *Energiewende*: modelo de transformação energético alemão

Não há data oficial de início para o *Energiewende*, mas é um processo contínuo e gradual de transição do sistema energético. Este pode ser visto como uma série de leis federais que se comple-

mentam, cada uma se adaptando às realidades atuais, ao mesmo tempo em que mantêm o foco na visão de longo prazo de transformar a Alemanha em uma das economias mais eficientes em termos de energia e sustentáveis do mundo (AGORA, 2019).

Embora esse programa alemão seja comumente associado a Política Nacional de Energia pós Fukushima, a noção de transição energética e o termo “*Energiewende*” (que pode ser traduzido como transição energética), remonta à década de 1970, quando os opositores das usinas nucleares suscitaram a possibilidade de outros cenários de energia alternativa. Pode-se, portanto, dizer que a iniciativa se deu com a oposição pública à energia nuclear, mas também está ligada à agenda internacional sobre Desenvolvimento Sustentável e mitigação das mudanças ambientais (HAKE *et al.*, 2015).

A transição energética trouxe objetivos ambiciosos de médio e longo prazo em todos os setores da energia (eletricidade, calefação e transporte) que devem ser atingidos até 2050. Estes objetivos exigirão uma transformação fundamental do sistema energético alemão, incluindo a passagem do carvão e da energia nuclear para as energias renováveis, que devem cobrir pelo menos 80 por cento do consumo de eletricidade no país em 2050 (AGORA, 2019).

Para alcançar os objetivos da descarbonização no longo prazo nos outros setores com forte participação dos combustíveis fósseis (transporte, indústria, calefação e refrigeração), será necessária também a transformação e desenvolvimento do sistema de fornecimento elétrico no país.

Todas essas diretrizes políticas acabaram ajudando a consolidação de um cenário econômico, político e social favorável ao aperfeiçoamento de novas tecnologias ambientais por parte das empresas, levando o setor ambiental a ser o que mais cresce na economia alemã (JOHNSTONE *et al.*, 2021).

O desenvolvimento tecnológico, alcançado pelas pesquisas em todo o país, tornou-se referência mundial. Neste desenvolvimento destacam-se as indústrias de produção de turbinas eólicas e placas fotovoltaicas, além do mercado fornecedor de equipamentos para geração de hidroeletricidade (RUTTEN, 2014).

A importância do desenvolvimento tecnológico alemão é demonstrada pelo fato de o país possuir um dos maiores percentuais instalados de energia eólica na matriz energética nacional; possuir tecnologia de ponta em usinas termoelétricas; ser a maior produtora e consumidora de biodiesel no continente europeu; além de se destacar como uma das campeãs na instalação de células solares fotovoltaicas ligadas a rede elétrica (BMWI, 2021).

Além de ser uma das políticas energéticas mais inovadoras da Europa, a *Energiewende* também é considerada a mais cara como pode-se perceber pelo volume investido. O custo total da implementação destas políticas até 2025, apenas no setor elétrico, foi estimado em 520 bilhões de euros. Um estudo de 2017 revelou que os custos estimados até 2030 serão ainda maiores, entre 600-700 bilhões de euros. Este valor não inclui os custos associados às transformações necessárias dos setores de aquecimento residencial e transporte (UNNERSTALL, 2017).

Antes do lançamento do programa, era claro que seriam necessários subsídios para superar a vantagem de custo e conveniência dos combustíveis fósseis. O governo da Alemanha reconheceu isso em junho de 2011, ao declarar que a expansão da energia renovável deveria ser econômica para garantir preços de eletricidade acessíveis. O custo de transformar o mercado de renováveis em um mercado de volume na Alemanha foi realizado com grande sucesso graças à política energética de tarifa *feed-in* (EUROPEAN COMMISSION, 2018).

Em 2000, a Alemanha adotou esse sistema tarifário rígido por meio da Lei de Fontes de Energia Renovável, que introduziu tarifas fixas para cada tipo de energia renovável, geralmente garantidas por 20 anos, e com uma previsão de redução de valor com o tempo (RUTTEN, 2014).

3. Lições do energiewende

A Alemanha, apesar das diferenças de realidade econômico-social e geográficas, traz experiências que são um *input* relevante para compreender as barreiras e oportunidades do processo de transição brasileira.

3.1 Condições institucionais e desenvolvimento tecnológico

O *Energiewende* foi capaz de gerar cenários favoráveis, para o desenvolvimento da indústria alemã de produção de turbinas eólicas e placas fotovoltaicas, além de desenvolvimento tecnológico para outras fontes renováveis se tornando referência mundial e que se tornou um dos pontos cruciais de toda a transformação energética alemã (LLTKENHORST; PEGELS, 2014).

Houve, na Alemanha, por exemplo, uma redução de 80% nos custos de produção de energia fotovoltaica entre 2005 e 2015. Essas reduções de custo tornaram a energia eólica e fotovoltaica mais competitiva quando comparadas às fontes convencionais, e somente assim será possível a eliminação da energia nuclear no país em 2022, como desenhada pela *Energiewende* (RENN; MARSHALL, 2016).

O desenvolvimento tecnológico alemão, no setor de energia limpa, colocou o país com 14% do *market share* mundial do mercado energético, além de uma projeção de atingir mais de 700 bilhões de euros no mercado doméstico em 2025 (SOPHER, 2015).

Todo esse crescimento levou o setor industrial alemão de energias renováveis a empregar mais de 370 mil pessoas em 2021, com um alto número de novas indústrias que foram atraídas para o setor devido ao suporte de mais de 20 anos de subsídio para renováveis garantidos pelo governo, e com estimativas de aumento anual de 18 mil novos empregos (CLEANENERGYWIRE, 2021).

Um exemplo desse crescente mercado foi exposto pelo pronunciamento da Siemens de retirada de todo investimento em engenharia de geração de energia nuclear, apostando que o mercado global de energia limpa continuará crescendo

Segundo dados do governo alemão, o investimento total em energias renováveis em todos os setores nos últimos dez anos passou de 280 bilhões de euros corroborando tal aposta de mudança de paradigmas de diversas empresas (IEA, 2020)

Todo esse processo de desenvolvimento da indústria alemã para servir de base para a transição energética foi desenhado em políticas de investimentos e compiladas no 6º Programa de Pesquisa Energética em 2011, um dos documentos oficiais do governo para a *Energiewende*. O foco do governo, desde 2011, foi apoiar pesquisas e a indústria de tecnologia que fosse capaz de garantir os objetivos e sucesso da transição no país (EUROPEAN COMMISSION, 2018).

Na seara de pesquisas e desenvolvimento de tecnologias voltadas para energias renováveis, o governo alemão definiu três pontos principais nesse documento de 2011:

- 1) **Políticas públicas que contribuíssem para o atingimento** das metas governamentais para o setor de energia e políticas climáticas. O financiamento deveria abordar novas formas de baratear as tecnologias e acelerar a penetração de mercado de renováveis.
- 2) **Políticas públicas que garantem a posição de liderança das empresas** alemãs no campo de tecnologias modernas de energia. O objetivo é expandir a atuação para outros países, visto que o mercado interno é limitado, especialmente para países em desenvolvimento. Isso deverá trazer novas oportunidades para atuação da Alemanha na proteção climática em escala global, além de trazer crescimento econômico e gerar mais empregos para o país.
- 3) As pesquisas que fossem capazes de garantir e aumentar opções tecnológicas de modo a **aumentar a flexibilidade de suprimento energético**. O governo garante com esse princípio a neutralidade tecnológica, e contribui para a prevenção de risco da economia relacionada a novas fontes energéticas (EUROPEAN COMMISSION, 2018).

Importante mencionar que já havia na Alemanha um histórico de financiamento de pesquisas, com um total de 70% sendo feito pelo setor industrial. Porém, o papel do Estado nesse aspecto torna-se crucial para minimizar os riscos e marca o papel estratégico do governo no desenvolvimento de novas tecnologias (HAKE *et al.*, 2015).

O projeto da *Energiewende* como um todo contribui de diferentes formas para que os setores de tecnologia energéticas possam se desenvolver dando responsabilidades a 4 ministérios distintos: Ministério do Meio Ambiente, Agricultura, Educação e Ministério da Economia e Energia e Ministério de Infraestrutura (BMBF, 2018).

De modo a rever e ajustar as políticas públicas para o futuro, a Alemanha lançou, em 2018, o 7º Programa de Pesquisas Energéticas e, em 2021, um Ato de Fontes Renováveis de Energia com emendas legais ao Ato de Energias Renováveis (EEG) e outros atos regulatórios (YANG *et al.*, 2021).

Esse novo Ato de 2021 cria todo o arcabouço legal para que a Alemanha consiga atingir as metas propostas para 2030 e 2050, além de ter um papel importante na era pós subsídios governamentais de 20 anos, permitindo que muitas empresas possam voltar a participar de novos leilões e se manterem ativas e economicamente viáveis apesar do baixo preço da eletricidade.

3.2 Subsídios para energia renováveis

Um dos pontos considerados de vital relevância para o sucesso e desenvolvimento do *Energiewende*, reside no modelo tarifário de *Feed-in*, que foi utilizado pelo governo como forma de acelerar a implantação de tecnologias de energia renovável no setor elétrico.

Praticamente 20% da tarifa elétrica cobrada do consumidor alemão corresponde a taxa EEG, a qual é utilizada para garantir o desenvolvimento de fontes renováveis no *grid* elétrico no país (LAUBER; MEZ, 2004).

Até mesmo o governo alemão vê com preocupação o crescimento do valor de tarifas que subsidiam os projetos de transição no país. Na Alemanha, o alto custo da tarifa energética para a população é vista como um dos problemas do *Energiewende*, mas já há estudos que comprovam que a tendência futura será uma redução na tarifa final ao consumidor.

Essa preocupação com o custo da energia tem relação com o conceito de segurança energética, o qual se baseia na garantia de fornecimento contínuo de energia a preços viáveis para atividades econômicas e bem-estar da população.

3.3 Segurança energética, posicionamento regional e questões ambientais

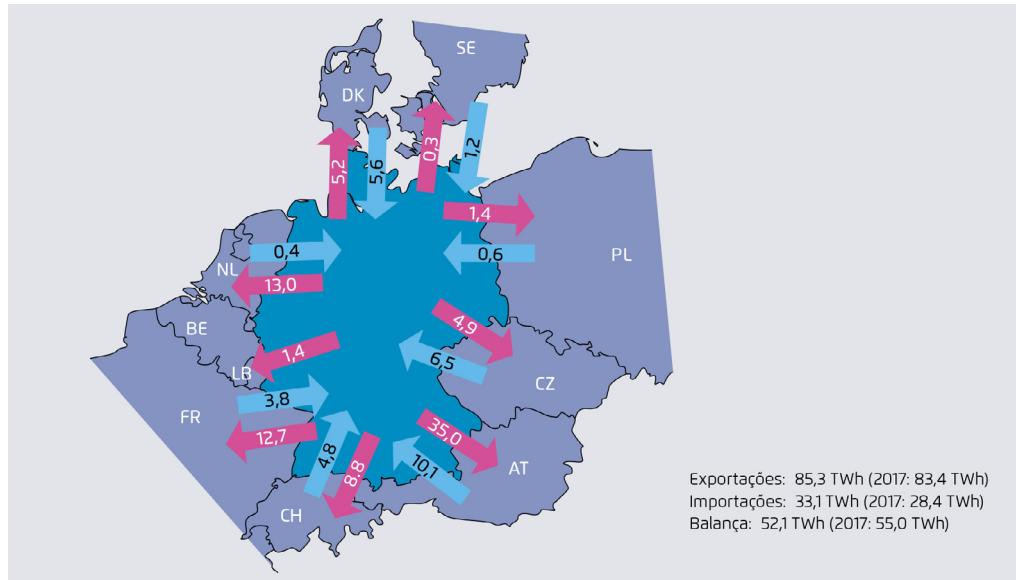
É importante termos uma avaliação sobre a questão da segurança energética para a Alemanha e a relevância dela para a geopolítica. Essa segurança pode ser justificada com base nos eventos históricos, como as crises do Petróleo, acidentes nucleares como Chernobyl e Fukushima, além de desastres ambientais que impactaram o abastecimento energético em diversos países prejudicando o desenvolvimento econômico e social.

A Alemanha demonstra que, com o *Energiewende*, seguiu as orientações apontadas por Yergin (2011) para a questão da segurança energética trabalhando três pilares: abastecimento interno, desenvolvimento da infraestrutura de fontes alternativas e integração regional, de forma a garantir todo abastecimento contínuo de energia.

Para analisarmos como o *Energiewende* trouxe alterações no cenário regional é interessante partirmos do estudo das relações comerciais que a Alemanha desenvolveu ao longo dos últimos anos, com o objetivo de diversificar a origem de seu abastecimento energético, antes dependente de escassas fontes e origens (HAKE *et al.*, 2015).

Ao analisar a Figura 2, sobre o fluxo comercial no mercado energético da Alemanha, observa-se que este abrange todos os países com quem o país faz fronteira e vem crescendo anualmente de modo a diminuir a dependência externa. Em 2021, o país mantém um saldo positivo de transações com Suécia, Noruega, Dinamarca, França e Bélgica (BDEW, 2021).

Figura 2: Fluxo comerciais com países Vizinhos 2018 (Alemanha)



Fonte: (AGORA, 2019)

Esse fluxo tem se mostrado favorável para o país, que vem desde 2003 apresentando um superávit no setor energético. Ao analisarmos os dados de exportação e importação energética, podemos inclusive indicar coincidências desse aumento do superávit com a implantação do *Energiewende* após 2003, principalmente com a Lei de Fontes de Energia Renovável (BDEW, 2021).

O crescimento das exportações tem sido uma das muitas razões pelas quais a rápida expansão das fontes de renováveis na Alemanha foi acompanhada por uma queda paralela no emissões de carbono, de acordo com pesquisadores (BDEW, 2021).

Essa redução de emissões de gases de Efeito Estufa (EEG) foi um dos pilares do *Energiewende* e em linha com as metas estipuladas pela União Europeia no combate as mudanças ambientais. Havia uma previsão de redução até 2020 de 40% aos níveis de 1990.

Embora a Alemanha estivesse em diminuição contínua nas emissões, foi a crise econômica da pandemia em 2020 que ajudou o país a atingir suas metas, com uma queda de 9% nas emissões (a maior queda anual desde 1990), aliadas à maior participação de energias renováveis no período, com baixo uso de combustíveis fósseis (AGEE, 2021).

A Agência Federal de Meio Ambiente alemão, mostrou que as emissões caíram em todos os setores da economia, notadamente na geração energética e nos transportes, devido aos *lockdowns* em 2020 (DW, 2021).

Contudo, o governo também está em alerta com as metas para 2030, pois a Alemanha demorou 30 anos para cortar o equivalente a 510 milhões de toneladas de emissão de CO₂. Para alcançar a meta de 2030 o país terá que reduzir mais 300 milhões de toneladas em um prazo de apenas dez anos. Isso irá acarretar novas políticas que tornem o plano de longo prazo plausível e, com certeza pautado em novas fontes energéticas, mais eficiência, e que terá como base um alto investimento em pesquisas e desenvolvimento (APPUNN; FELIX, 2018).

O *Energiewende* foi capaz de trazer os benefícios de integração, e o aumento das relações comerciais energéticas com os países vizinhos trouxe maior segurança energética, além de novas oportunidades de desenvolvimento de pesquisas em conjunto com outros países do bloco europeu no setor energético (SCHMID; KNOPF; PECHAN, 2016).

3.4 Estruturas de financiamento para ER

No setor financeiro, os riscos para a implantação de energia renovável se dão por diversas causas. De uma perspectiva internacional, riscos macroeconômicos relacionados à instabilidade política, moeda e crédito em geral, podem diminuir a confiança do investidor do próprio país, como acontece com qualquer outro investimento. Em uma perspectiva nacional, a capitalização de mercado de muitos países é baixa, agravada pela falta de recursos financeiros adequados ou produtos sob a forma de linhas de crédito especiais. Muitos setores financeiros domésticos de vários países também estão subdesenvolvidos, e apresentam falta de capacidade ou vontade de fornecer crédito para projetos de energia renovável (FRANKFURT SCHOOL-UNEP, 2020).

Como mencionado anteriormente, a Alemanha tem como um dos objetivos, contidos no *Energiewende*, apoiar investimentos em outros países no setor de energias renováveis (EUROPEAN COMMISSION, 2018).

Uma importante fonte de financiamento desses investimentos é o *KFW Development Bank*, que tem ajudado o governo alemão a atingir as políticas públicas de Desenvolvimento Sustentável, e um grande aliado em cooperação internacional, com um histórico de mais de 50 anos de atuação. (KFW, 2021).

O Brasil, por exemplo, é um dos cinco principais países no mundo parceiros do KFW. Desde 2007, o KFW financiou aproximadamente 17 projetos no Brasil, embora, em alguns anos, o volume tenha sido praticamente zero e, em 2020, vimos somente um projeto apoiado pelo banco (KFW, 2021).

Há na Alemanha uma alta participação privada na geração de energia renovável, com 42% da capacidade na mão de consumidores que investiram na geração própria e vendem o excedente para a rede na qual estão conectados. Aumentar essa rede significa aumentar a disponibilidade de consumo de fontes limpas pela população. Esse, na verdade, é um dos fatos mais marcantes de todo o *Energiewende* que conseguiu em 20 anos levar a Alemanha a produzir mais de 45% de sua eletricidade de fontes renováveis.

Outras instituições, seguindo orientações do Energiewende, também mantêm projetos de investimentos no setor energético, como é o caso da Sociedade *Fraunhofer*, que desenvolve mais de 20 projetos no Brasil (CEPAL, 2020).

A estrutura de financiamento interno na Alemanha tem sido o alicerce para o desenvolvimento das fontes de energia renováveis, tendo o governo federal, o governo estadual e a indústria como os grandes *players*. Essa estrutura garante ao governo os investimentos necessários para todas as etapas do projeto de transição energética.

4. Conclusões e considerações

Os resultados do *Energiewende* e seus impactos na economia alemã têm sido relevantes, mostrando a capacidade de planejamento e os benefícios alcançados para o país. Esse planejamento adequado e minucioso era necessário para que a economia não fosse afetada negativamente. Além disso, serviu para colocar a Alemanha como um dos principais *players* no cenário global de energias renováveis.

A primeira pergunta a ser respondida é: como isso foi possível para o Estado? Dois fatores foram preponderantes para que o Energiewende fosse um caso de sucesso: objetivos claros do projeto e transparência das decisões e planejamentos.

O governo alemão foi muito eficaz ao estabelecer claramente as principais metas que queria atingir, em concordância com as metas do bloco europeu, e que colocassem a Alemanha em destaque no mundo.

O *Energiewende* implementou sobretaxas (EEG) nas contas de eletricidade, de forma a garantir recursos financeiros para os desenvolvimentos de novas tecnologias, embora tenha elevado assim os custos para os consumidores finais. Isso pode ser um dos pontos de atenção do projeto alemão, e um empecilho para que o seu modelo seja aplicado em outros países do Sul Global. Uma característica desses países é aplicar subsídios como uma forma de reduzir os custos de eletricidade para o consumidor, ou seja, como uma medida compensatória na redução da pobreza e desigualdade.

Por outro lado, as energias renováveis podem garantir o acesso a regiões marginalizadas, principalmente áreas rurais. O *Energiewende* foi capaz de ampliar o acesso à energia na Alemanha, levando maior diversidade a áreas com redes de distribuição escassas.

Do ponto de vista de desenvolvimentos de pesquisas e novas tecnologias, o *Energiewende* foi capaz de atrair para o seu mercado interno investimentos não só públicos, mas também privados. A indústria alemã desonta no cenário global como uma das mais importantes e avançadas, com planejamento coordenado com as diretrizes governamentais e as metas ambientais.

Não é surpresa a economia alemã ser uma das mais fortes e estruturadas do mundo, e que a geração de empregos no setor energético de renováveis chegue perto de meio milhão de postos de trabalhos diretos e indiretos.

As políticas públicas do *Energiewende* levaram a uma reestruturação da rede elétrica alemã, com maior ramificação, distribuição e uma descentralização da transmissão. Contudo, até mesmo com todo investimento, o governo alemão ainda tem muito o que fazer para que a rede consiga atender e interligar todo o país e diminua os riscos de desabastecimentos. Aumentar a disponibilidade de fontes energéticas para o consumidor é um ponto chave de todo o projeto.

O propósito de uma transição energética, acima de tudo, tem que transformar a estrutura econômica, social e ambiental para que seja de fato considerado um modelo de sucesso.

Importante ressaltar a transformação na seara ambiental que o *Energiewende* trouxe para a Alemanha, ao colocar todos os esforços em uma matriz mais diversificada, com menos emissões de CO₂, aliada à maior eficiência energética.

Tratando-se de eficiência energética, o modelo alemão, conseguiu trazer mudanças em legislações de vários setores, melhorando o sistema regulatório com regras claras e objetivas e atualizadas. Isso foi feito com o intuito de trazer mais transparência para a população e para os outros setores envolvidos em projetos de transição energética e dando mais garantia para os investidores.

Diante de todos os dados que foram expostos nesse artigo sobre a *Energiewende*, pode-se sugerir que outros governos, incluindo o brasileiro, têm pontos importantes a observar no modelo alemão.

A participação do governo é necessária para garantir a estabilidade ao mercado de fontes renováveis, direcionando investimentos de médio e longo prazos que sejam capazes de suportar o ciclo de desenvolvimento de novas tecnologias. A descentralização da produção é outro ponto a ser considerado para que a participação de renováveis seja cada vez maior na matriz brasileira.

Dizer que o modelo alemão é um projeto de gestão perfeito e adequado para qualquer país seria um erro, mas podemos afirmar que há pontos que merecem ser observados e adaptados para a realidade de países do Sul Global.

A transição e diversificação da matriz energética merece atenção de todos os governos, sejam os do Norte Global ou do Sul Global, para que possamos mitigar os efeitos das mudanças ambientais globais.

Bibliografia

- AGEE. *Renewable energies in figures*; 2021.
- AGORA. *A Energiewende em resumo*, 2019.
- APPUNN, Kerstine. *The history behind Germany's nuclear phase-out | Clean Energy Wire*.
- APPUNN, Kerstine; FELIX, Bieler. *Germany's energy consumption and power mix in charts | Clean Energy Wire*. Clean Energy Wire, 2018
- BDEW. *Exchange of electricity with foreign countries*, 2021.
- BMBF, Federal Ministry of Education. German Energy Transition - BMBF. *German Energy Transition*, n. November, 2018.
- BMWI. BMWi - *Federal Ministry for Economic Affairs and Energy - An electricity grid for the energy transition*, 2021.
- BP. *Statistical Review of world energy full report. Marine and Petroleum Geology*, 2021.
- CEPAL. *Um grande impulso para a sustentabilidade no setor energético do Brasil: subsídios e evidências para a coordenação de políticas*, 2020
- CLEANENERGYWIRE. *German industry says protecting climate can benefit economy | Clean Energy Wire*, 2021.
- DW. The coronavirus effect: Germany achieves its 2020 climate targets. DW, 2021.
- EUROPEAN COMMISSION. *Case Study Report: Energiewende*, 2018.
- FERREIRA, Leila; MARTINELLI, Marina. Anthropocene: Governing Climate Change in China and Brazil. *Sociology and Anthropology*, v. 4, n. 12, p. 1084–1092, 2016.
- FGV. A comparative analysis of energy transition in Latin America and Europe. *FGV ENergia*, 2016.
- FREIRE DE MELLO, Leonardo et al. Anthropocene and Migration: Challenges in the 21st Century. *Decent Work and Economic Growth*, n. September, p. 1–9, 2020.
- FUSER, IGOR. *Livro Energia e Relações Internacionais (Completo) | Economia Política Internacional de Energia*. SÃO PAULO: SARAI, 2013.
- GRAICHEN, PATRICK; LENCK, Thorsten. *CO2 price and EEG surcharge*, 2021
- HAKE, Jürgen Friedrich et al. The German Energiewende - History and status quo. *Energy*, v. 92, n. February 2018, p. 532–546, 2015.
- IEA. *Germany 2020: Energy Policy Review*. Energy Policy Review, 2020.
- IEA. *Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector*, 2021
- JOHNSTONE, Phil et al. Exploring the re-emergence of industrial policy: Perceptions regarding low-carbon energy transitions in Germany, the United Kingdom and Denmark. *Energy Research and Social Science*, v. 74, 2021.
- KFW. KFW - Countries. Disponível em: <<https://www.kfw.de/microsites/Microsite/transparenz.kfw.de/#/country/BRA/2021>>. Acesso em: 17 ago. 2021.
- KLARE, MICHAEL. *Rising Powers, Shrinking Planet: The New Geopolitics of Energy*, 2009.
- LAUBER, Volkmar; MEZ, Lutz. Three decades of renewable electricity policies in Germany. *Energy and Environment*, v. 15, n. 4, p. 599–623, 2004.
- LLTKENHORST, Wilfried; PEGELS, Anna. Stable Policies Turbulent Markets. Germany's Green Industrial Policy: The Costs and Benefits of Promoting Solar PV and Wind Energy. *SSRN Electronic Journal*, 2014.
- LOSEKANN, Luciano; HALLACK, Michelle. Novas Energias Renováveis No Brasil: Desafios E Oportunidades. *Desafios da Nação: artigos de apoio*, v. 1889, p. 631–655, 2017.
- MCKINSEY & COMPANY. McKinsey on Climate Change. *McKinsey on Climate Change*, n. September, p. 216, 2020.
- MOUSAZADEH, Milad et al. *Positive environmental effects of the coronavirus 2020 episode: a review*.

Environment, Development and Sustainability, 2021

MOUSINHO, Maria Cândida Arrais de Miranda *et al.* Geopolítica De Mudança De Energia: Qual É O Papel Da Sustentabilidade Na Geopolítica Global De Energia? v. 12, p. 84–110, 2017.

ONU BRASIL. *Objetivo do Milênio. Objetivos do Milênio*, 2018.

PARLAMENTO EUROPEU. *Combater as alterações climáticas. Fichas temáticas sobre a União Europeia*.

PREBISCH, Raul. O desenvolvimento econômico da América Latina e seus principais problemas. *Revista Brasileira de Economia*, v. 3, p. p.47-109, 1949.

QUEIROZ, Helder *et al.* *Economia da Energia*. Elsevier, 2007.

REN21. *Renewables 2017: global status report*, 2017.

RENN, Ortwin; MARSHALL, Jonathan Paul. Coal, nuclear and renewable energy policies in Germany: From the 1950s to the “Energiewende”. *Energy Policy*, v. 99, p. 224–232, 2016.

ROCKSTRÖM, Johan *et al.* Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, v. 14, n. 2, 2009.

RUTTEN, DAN. *The Energiewende and Germany’s industrial policy*. [S.l.: s.n.], 2014.

SACHS, Ignacy. A revolução energética do século XXI. *Estudos Avancados*, v. 21, n. 59, p. 21–38, 2007.

SCHMID, Eva; KNOPF, Brigitte; PECHAN, Anna. Putting an energy system transformation into practice: The case of the German Energiewende. *Energy Research and Social Science*, v. 11, p. 263–275, 2016.

SOPHER, Peter. Lessons learned from Germany’s energiewende: The political, governance, economic, grid reliability, and grip optimization bedrock for a transition to renewables. *Renewable Resources Journal*, v. 29, n. 3, p. 6–13, 2015.

SOUZA, Maria Cristina Oliveira; CORAZZA, Rosana Icassatti. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 42, n. 0, p. 52–80, 24 dez. 2017.

UNEP; FRANKFURT SCHOOL. *Global trend in renewable energy 2020*. 2020.

UNION, 2020.

UNNERSTALL, Thomas. How expensive is an energy transition? A lesson from the German Energiewende. *Energy, Sustainability and Society*, v. 7, n. 1, p. 1–5, 1 dez. 2017..

VIOLA, Eduardo; BASSO, Larissa. O SISTEMA INTERNACIONAL NO ANTROPOCENO. *Revista Brasileira de Ciências Sociais*, v. 31, n. 92, p. 01, 29 ago. 2016.

YANG, Xueqing *et al.* Effects of the German Renewable Energy Sources Act and environmental, social and economic factors on biogas plant adoption and agricultural land use change. *Energy, Sustainability and Society*, v. 11, n. 1, 2021.

YERGIN, DANIEL. *The quest: energy, security, and the reamking of the modern world*, 2011.

Interação de contaminantes da produção de shale gas com materiais geológicos

Interaction of contaminants from shale gas production with geological materials

Rodrigo Sobral Nogueira¹

Lucy Gomes Santánnna²

Ricardo Ivan Ferreira Da Trindade³

Sumário: Resumo. 1. Introdução. 2. Justificativa. 3. Objetivos. 4. Estado da arte. Agradecimentos. Bibliografia.

Resumo: Métodos geofísicos são importantes para se explorar a subsuperfície em grandes profundidades por se tratarem de observações indiretas, medindo propriedades físicas geradas. No presente trabalho explora-se como o fluido de fraturamento hidráulico - nocivo ao meio ambiente e utilizado na exploração do gás de folhelho - interage com materiais geológicos típicos da Bacia do Paraná (Brasil), alterando sua mineralogia e por consequência, as respostas geoelétricas do terreno medidas em superfície. Para isso será analisada em laboratório a interação de folhelho, arenito, basalto e solo recolhidos *in situ* com o fluido em diferentes concentrações. Utilizando um equipamento capaz de medir a eletrorresistividade das amostras, serão avaliadas mudanças nas respostas ao longo do tempo. No Brasil, ainda que esta produção seja inexistente atualmente, estudos que investigam a interação de minerais do material (solo, sedimento ou rocha) com fluido contaminante são ainda escassos, considerando a dimensão do território nacional e a diversidade dos materiais naturais encontrados, e conduzidos de forma independente entre a Geologia e a Geofísica. No entanto, o conhecimento da interação de fluidos contaminantes com minerais de materiais geológicos distintos, provenientes do território brasileiro, poderá ser norteador do gerenciamento de áreas contaminadas relacionadas a produção de hidrocarbonetos ou outros ramos da atividade econômica. Espera-se com este trabalho determinar sob quais condições os métodos geoelétricos serão capazes de identificar uma eventual contaminação do fluido de fraturamento hidráulico em aquíferos da Bacia do Paraná, caso seja aprovado no Brasil este método de exploração.

Palavras-Chave: geofísica; fraturamento hidráulico; Bacia do Paraná; shale gas.

Abstract: Geophysical methods are important to explore the subsurface at great depths because they are indirect observations, measuring physical properties generated by it. The present work explores how hydraulic fracturing fluid – harmful to the environment and used in the exploitation of shale gas – interacts with geological materials typical of the Paraná Basin (Brazil), altering its mineralogy and, consequently, the geoelectrical responses of the ground measured on surface. For this, the interaction of shale, sandstone, basalt and soil collected *in situ* with the fluid at different concentrations will be analyzed in the laboratory. Using equipment capable of measuring the electroresistivity of the samples, changes in responses over time will be evaluated. In Brazil, even though this production is currently non-existent, studies that investigate the interaction of minerals in the material (soil, sediment or rock) with contaminating fluid are still scarce, considering the size of the national territory and the

¹ Graduando em Geofísica, Universidade de São Paulo, r.sobralnogueira@usp.br.

² Doutora em Geologia, Universidade de São Paulo, lsantann@usp.br.

³ Doutor em Geofísica, Universidade de São Paulo, ricardo.trindade@iag.usp.br.

diversity of natural materials found, and conducted independently between Geology and Geophysics. However, knowledge of the interaction of contaminating fluids with minerals from different geological materials, coming from Brazilian territory, may guide the management of contaminated areas related to the production of hydrocarbons or other branches of economic activity. It is expected with this work to determine under which conditions the geoelectrical methods will be able to identify an eventual contamination of the hydraulic fracturing fluid in aquifers of the Paraná Basin, if this exploration method is approved in Brazil.

Keywords: geophysics, hydraulic fracturing, Paraná Basin, shale gas

1. Introdução

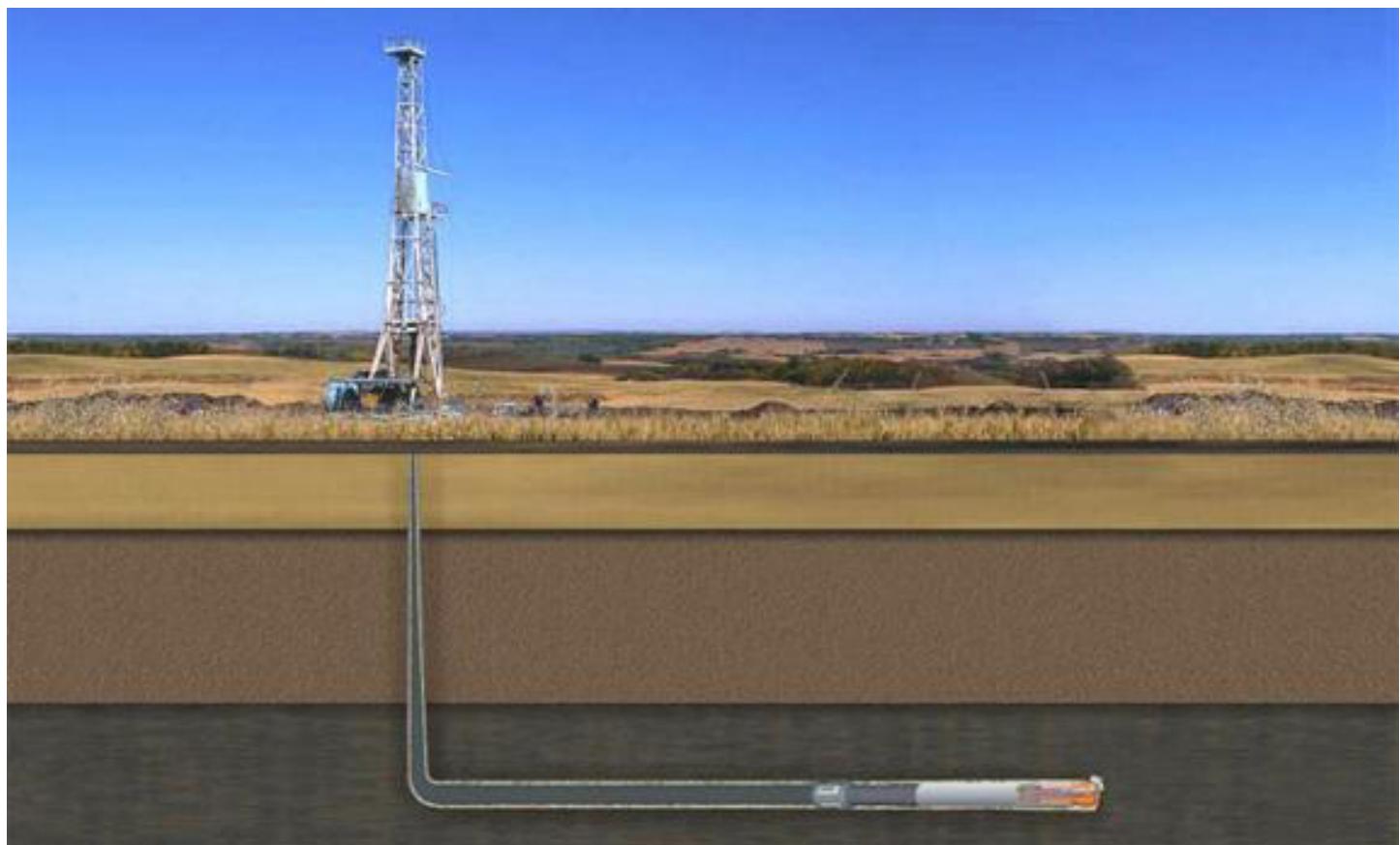
Na indústria do petróleo, o *shale gas* (ou gás não convencional) refere-se ao gás natural acumulado nos poros dos folhelhos de baixa permeabilidade. Assim como ocorre na geração do petróleo e do gás convencional - encontrados nos poros de arenitos -, a matéria orgânica que forma o *shale gas* é soterrada ao longo do tempo geológico, porém neste caso os hidrocarbonetos não migram da rocha geradora para a rocha armadilha, de modo que todo o processo ocorre apenas dentro do folhelho. Extensas proporções de bacias sedimentares tornam-se atrativas para a extração do *shale gas*.

O folhelho, por sua vez, é uma rocha sedimentar de granulação fina, formada a partir da sedimentação e diagênese de siliciclastos em corpos d'água, depositados em textura finamente laminada. Estes sedimentos em suspensão, junto com a matéria orgânica, são depositados em camadas intercaladas, soterrados e compactados a grandes profundidades. A água dos poros é expelida, tornando o folhelho uma rocha de baixa permeabilidade quando comparada com o arenito, a rocha reservatório. Durante o processo de formação do petróleo e gás natural, é necessário que a matéria orgânica seja depositada junto à rocha geradora (folhelho), que em alta pressão e temperatura se transforma e migra para a rocha reservatório (arenito), e ali fica presa, selada por uma rocha capeadora (folhelho).

O fraturamento hidráulico (*fracking*) - processo usado amplamente pelo qual se extrai o *shale gas* - se dá através da combinação de perfurações de poços verticais e horizontais sobre o folhelho. Usando corrente elétrica, cargas são explodidas na zona de produção do folhelho, onde ocorre a formação do gás, de modo a formar cavidades entre os poços, que são posteriormente canalizados. Esta produção é controlada por uma plataforma de 16 a 20 mil m² construída sobre a tubulação, onde se localiza todo o maquinário e materiais necessário para o transporte do gás coletado, como ilustra a Figura 1 (Foreign and Commonwealth Office, 2015).

O objetivo do fraturamento hidráulico é introduzir através da tubulação um fluido em alta pressão, composto por grande volume de água, areia e alguns compostos químicos, até a região do folhelho. O fluido então estimula o aumento das fraturas da rocha, que por sua vez aumenta a porosidade como um todo. (Foreign and Commonwealth Office, 2015).

Figura 1: sítio de perfuração do poço do fraturamento hidráulico



Fonte: U.S. Department of Energy

A constituição do fluido de *fracking* é variável a depender da geologia local onde o método do fraturamento hidráulico será aplicado. Em média, consiste numa proporção de 98 a 99% do volume total, 1 a 1,9% de propante (geralmente areia ou partículas de cerâmica), e componentes químicos diversos em menor proporção, como redutores de fricção, surfactantes, inibidores de corrosão, etc. A Tabela # detalha com maior riqueza a natureza destes compostos químicos e o motivo de sua aplicação. Há evidências de que nos Estados Unidos, entre 2005 e 2009, mais de 750 componentes químicos diferentes já haviam sido usados na constituição do fluido de *fracking* (Foreign and Commonwealth Office, 2015).

2. Justificativa

Embora ainda inexistente no Brasil, a exploração do gás de folhelho por meio do fraturamento hidráulico em outros países, como nos Estados Unidos, tem despertado a atenção para os possíveis problemas ambientais associados ao processo. Entre estes problemas pode-se citar a dispersão do gás em águas subterrâneas e na atmosfera, fraturas que podem conectar aquíferos rasos e profundos, e o descarte inadequado de fluidos usados no fraturamento hidráulico, que podem vir a contaminar águas em superfície (VENGOSH et al., 2016).

No que diz respeito à contaminação da subsuperfície por derivados do petróleo, há trabalhos que demonstram que plumas de contaminação podem ser detectadas por métodos elétricos e eletromagnéticos da Geofísica, como o caminhamento elétrico (CE), a tomografia de resistividade elétrica (*Electrical Resistivity Tomography - ERT*) e o radar de penetração de solo (*Ground Penetration Radar - GPR*). Estes trabalhos também sugerem que mudanças das propriedades geoquímicas podem ocorrer em aquíferos devido ao processo de biodegradação dos compostos do petróleo. Tal fenômeno pode ser caracterizado por anomalias de baixa resistividade, o que indica a alta concentração de hidrocarbonetos (MOREIRA et al., 2009).

Desta forma, o derramamento de poluentes como diesel e fluidos de *fracking* em corpos d'água e a introdução destes compostos químicos nas fraturas subterrâneas - alguns de alto risco ao meio

ambiente devido à escolha inapropriada - podem afetar ecossistemas aquáticos e marinhos, além de próprio risco à sociedades devido ao consumo da água proveniente destes poços.

ALAWATTEGAMA et al. (2015) mostram que amostras de água em 33 poços diferentes alimentados pelo mesmo aquífero em uma comunidade rural, próximos a uma região onde o fraturamento hidráulico era aplicado, contaminações de sódio, cálcio, magnésio, ferro, manganês e estrôncio foram encontradas. Um dos estudos caracteriza química e toxicologicamente as substâncias e particulados gerados pela aplicação do método, e mostrou que os embriões de uma espécie de peixe ornamental, quando em contato com tais substâncias, podem desenvolver toxicidade aguda, a qual induz o aumento na mortalidade destes embriões (HE et al., 2017).

A importância do gás de folhelho está, além do alto valor econômico agregado, na menor geração de gases de efeito estufa à atmosfera quando queimado, em comparação ao carvão. Estima-se que a reserva global de gás de folhelho contenha mais de 200 trilhões de metros cúbicos em volume. Atualmente apenas os Estados Unidos, Canadá e China produzem o *shale gas* a nível comercial (ANNEVELINK et al., 2016).

De acordo com o departamento de energia dos Estados Unidos, o Brasil é ranqueado como o 10º país com maior volume de reservas de *shale gas* do planeta, estimadas em torno de 6,9 trilhões de metros cúbicos, representando sozinho 3% do volume total mundial. Das 18 bacias sedimentares brasileiras (Figura 2), a de Parecis (MT), Parnaíba (MA), Recôncavo (BA) e de São Francisco (MG) são as de maior potencial. Uma das causas pelas quais o País ainda não implementou o processo de fraturamento hidráulico para extração do *shale gas* tange exatamente esta questão dos impactos ambientais.

Figura 2: Bacias sedimentares brasileiras



Fonte: Foreign and Commonwealth Office, 2015

A bacia do Paraná, a saber, cobre uma área significativa do aquífero Guarani, o 2º maior aquífero de água doce do mundo, que além do Brasil, também é fornecedor de água potável para a Argentina, Paraguai e Uruguai. As reservas de gás de folhelho da bacia encontram-se abaixo do nível do aquífero. Se em um futuro próximo estas reservas em potencial forem exploradas, é imprescindível que hajam acordos e regulamentações entre estes países, embasadas em estudos de institutos de pesquisa e Universidades, para prevenir consequências desastrosas para a sociedade e meio ambiente (Foreign and Commonwealth Office, 2015).

A denominada Bacia do Paraná refere-se à extensa bacia sedimentar localizada em parte no sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, no leste do Paraguai e nordeste Argentina, e na porção ocidental do Uruguai, com área de aproximadamente 1,5 milhão de km² e espessura total máxima de cerca de 7 km. Devido à imensurável quantidade de unidades geológicas formadoras da bacia, é comum na literatura sua divisão cronoestratigráfica em 6 supersequências, separadas por sua vez em discordâncias interregionais. Tais discordâncias referem-se às diferenças de litologia ocasionadas pela erosão de camadas sotopostas e posterior deposição de rochas mais novas, omitindo parte do registro geológico.

3. Objetivos

Os objetivos deste trabalho são: i) investigar se o fluido de *fracking* é capaz de alterar quimicamente os argilominerais de rochas e sedimentos típicos de alguma bacia brasileira - a bacia do Paraná; ii) verificar se estas alterações podem modificar as propriedades elétricas da argila antes e após a contaminação, de modo a serem detectadas por métodos geofísicos; iii) investigar como o fluido escoa através dos materiais geológicos ao longo do tempo.

Para tanto, em laboratório serão conduzidos experimentos que reproduzam as condições naturais de exploração do gás de folhelho através do fraturamento hidráulico, em formato diminuto. As extensas camadas da bacia do Paraná serão simuladas por uma fração de amostras de cada formação dentro de tubos de PVC; o fluido de *fracking* será reproduzido a partir da composição química média dada pela literatura; as análises geofísicas, como o teste de resistividade dielétrica, serão realizadas por um aparelho MSCL do IEE.

O objetivo do trabalho é generalizar os resultados obtidos em pequena escala em laboratório para grandes escalas de campo, uma vez que é inviável em termos técnicos e ambientais conduzir o mesmo experimento em escala macroscópica, como ocorreria na exploração do gás de folhelho pelo método do fraturamento hidráulico.

4. Estado da arte

Métodos geofísicos, como os de eletrorresistividade, são muito comuns na investigação da contaminação do solo, pois conseguem de maneira rápida abranger uma grande profundidade de investigação medindo o contraste de propriedades elétricas dos contaminantes com os do meio (MOREIRA et al., 2006). Contaminantes inorgânicos, como no caso do fluido de *fracking*, têm compostos salinos, que são bons condutores, enquanto o solo apresenta alta resistência dielétrica, e desta forma podem ser detectados nestes métodos. Por outro lado, na examinação de contaminações causadas por compostos orgânicos - que em sua maioria são mau condutores -, espera-se a degradação química, transformando-os em ácidos e susceptíveis à interação com campos elétricos.

Trabalhos mostram que micro-organismos são capazes de degradar certos contaminantes orgânicos, como o benzeno, tolueno, xileno, 1,2-dicloroetano - encontrados todos na constituição da gasolina -, em um processo denominado como biodegradação, e que ocasiona a atenuação natural. Este processo, porém, não ocorre de forma instantânea, e sua eficiência é determinada não apenas pelo período de residência do contaminante, mas também pela presença de íons no solo, que agem como receptores elétricos e alteram as condições do pH (MOREIRA et al., 2006).

A atenuação natural, por sua vez, é o processo que ocorre ao longo do tempo em que determinadas substâncias sintéticas (como as citadas no último parágrafo) sofrem processos químicos, físicos e biológicos, transformando-se em outras em condições favoráveis no solo. Este processo atenua a poluição humana, porém nem sempre em escala de tempo adequada às nossas necessidades. Além disso, o meio no qual se encontra a contaminação pode ser desfavorável para o processo, como

quando na escassez de O_2 , SO_4^{2-} , Fe^{3+} , NO^{3-} e Mn^{4+} (receptores elétricos), principalmente no centro da pluma de contaminação, onde a concentração do poluente é maior (MOREIRA et al., 2006).

Um destes trabalhos concluiu que contaminantes dispersos no aquífero podem ser transportados a distâncias maiores, encontrando assim condições favoráveis para a degradação e consequente atenuação natural, devido à oxigenação, enquanto aquíferos de permeabilidade menor apresentaram menor atenuação. Este resultado demonstra que contaminantes orgânicos da gasolina podem ser detectados ainda que a longas distâncias, embora o alastramento da contaminação seja um viés ambiental (VARZACACOU, N.N., 2009).

Benzeno, tolueno e xilenos (BTX) também interagem com argilominerais da Formação Resende, na Bacia de São Paulo, como demonstrado no trabalho de VARZACACOU, N.N., 2009, por meio de adsorção (quando moléculas se aderem à superfície de um corpo ou partícula devido às forças de ligação secundária). Este trabalho também demonstra que, quanto menor a granulometria do material geológico, maior a adsorção do contaminante. No caso puramente da argila, diferentes composições mineralógicas apresentam diferentes teores de contaminantes adsorvidos, com maior concentração naqueles esmectíticos.

No caminhamento elétrico, a propriedade da resistividade elétrica aparente é obtida ao longo de uma linha de investigação, de modo a produzir um perfil 2-D sob o caminho. O método utiliza-se de eletrodos metálicos dispostos em arranjos diversos, a depender da técnica, sobre os quais são aplicadas correntes elétricas. O material em subsuperfície interage com as linhas do campo elétrico produzida pela corrente que percorre os eletrodos, devido à sua condutibilidade, causada pela presença de íons dispersos em solução aquosa, devido ao efeito de polarização induzida, ou corpos metálicos, ainda que sulfetos (MOREIRA et al., 2009).

O princípio de funcionamento do GPR também se vale do contraste de propriedades elétricas entre o alvo (para fins deste trabalho, considera-se o alvo como uma pluma de contaminação de gás natural ou de fluido de fracking) e o meio no qual ele se encontra, a partir da interação com ondas electromagnéticas geradas pelo equipamento. Uma vez que o solo arenoso, siltoso ou argiloso é caracterizado por alta resistividade dielétrica, a radiação emitida pelo aparelho praticamente não é refletida no solo, sendo então difundida e atenuada no meio. Um alvo com menor resistividade que o solo refletirá estas ondas, as quais o equipamento detecta e exibe na forma de hipérboles.

Uma pluma de gás metano - constituinte do *shale gas* - pode ser monitorada através de aquíferos ao longo do tempo em corpos arenosos através do uso de GRP e ERT, de acordo com STEELMAN et al., 2017. Os equipamentos identificaram a reflexão de sinais e anomalias de resistividade em direção e magnitude condizentes com o fluxo de águas subterrâneas a uma profundidade de até 10 m, que mostram como a pluma de contaminação evoluiu no decorrer de 6 meses. Para águas subterrâneas rasas - embora houveram variações do fluxo relacionadas à granulometria do solo -, este método se mostrou confiável.

Outros métodos geofísicos válidos, porém menos usuais, envolvem a sísmica, a gravimetria e o método magnetotelúrico (MT). Estes por sua vez provêm informações a respeito da estrutura geológica, profundidade do aquífero e quantidade de água carregada por ele. Em adição aos métodos geoelétricos e à análise química, nos permite coletar informações suficientes para averiguação da qualidade de águas subterrâneas e seus potenciais riscos (MOURA et al., 2018).

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento da Petrobras S.A.

timento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Bibliografia

- ALAWATTEGAMA, S.K., Kondratyuk, T., Krynoch, R., Bricker, M., Rutter, J.K., Bain, D.J., Stoltz, J.F. 2015. **Well water contamination in a rural community in southwestern Pennsylvania near unconventional shale gas extraction.** Journal of Environmental Science and Health, Part A 50:516–528.
- ANNEVELINK, M.P.J.A., Meesters, J.A.J., Hendriks, A.J. 2016. **Environmental contamination due to shale gas development.** Science of the Total Environment 550:431–438. Forde, O.N., Mayer, K.U., Hunkeler, D. 2019. Identification, spatial extent and distribution of fugitive gas migration on the well pad scale. Science of the Total Environment 652:356–366.
- CASTRO, R. A. 2015. **Estudo da aplicação do fraturamento hidráulico em reservatórios de baixa permeabilidade com características da bacia do parnaíba.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- FINK, J. K. 2015. **Water-based chemicals and technology for drilling, completion, and workover fluids.** Montanuniversität Leoben.
- Foreign and Commonwealth Office. 2015. **Shale Gas Study.** Amec Foster Wheeler Environment & Infrastructure UK Limited
- GESICKI, A. L. D. 2007. **Evolução diagenética das formações Pirambóia e Botucatu (sistema aquífero Guarani) no Estado de São Paulo.** Tese de doutorado, IGc-USP.
- HE, Y., Flynn, S.L., Folkerts, E.J., Zhang, Y., Ruan, D., Alessi, D.S., Martin, J.W., Goss, G.G. 2017. **Chemical and toxicological characterizations of hydraulic fracturing flowback and produced water.** Water Research 114:78-87.
- MILANI, E. J. et al. 2007. **Bacia do Paraná.** B. Geoci. Petrobras, v. 15, n. 2, p. 265-287. Rio de Janeiro.
- MOREIRA, C.A., Dourado, J.C., Braga, A.C.O. 2006. **Aplicação da técnica de caminhamento elétrico em área contaminada por derivados de petróleo.** Revista Brasileira de Geofísica 24(3):383-392.
- MOREIRA, C.A., Braga, A.C.O. 2009. **Aplicação de métodos geofísicos no monitoramento de área contaminada sob atenuação natural.** Engenharia Sanitária e Ambiental 14(2):257-264.
- MOURA, C.S., Heemann, R., Razeira, M., Soares, G.B., Garcez, G.R., Pires, J.C.G., Osório, V.C., Santos, H.S. 2018. **Different Approaches on the Investigation of Ground Water.** Journal of Earth Science and Engineering 8:39-49.
- SIMON, Q. et al. 2020. **Chronostratigraphy of a 1.5 ± 0.1 Ma composite sedimentary record from Colônia basin (SE Brazil): Bayesian modeling based on paleomagnetic, authigenic $^{10}\text{Be}/^{9}\text{Be}$, radiocarbon and luminescence dating.** Quaternary Geochronology.
- VENGOSHA, A., Warnera, N., Jacksona, R., Darraha, T. 2013. **The effects of shale gas exploration and hydraulic fracturing on the quality of water resources in the United States.** Procedia Earth and Planetary Science 7:863 – 866.
- STEELMANA, C.M., Klazingab, D.R., Cahilla, A.G., Endresb, A.L., Parker, B.L. 2017. **Monitoring the evolution and migration of a methane gas plume in an unconfined sandy aquifer using time-lapse GPR and ERT.** Journal of Contaminant Hydrology 205:12–24.
- VARZACACOU, N.N. 2009. **Adsorção de gasolina por argilominerais esmectíticos da Formação Resende, Bacia de São Paulo.** Dissertação de Mestrado, IGc-USP, 95p.
- ZALÁN, P. V. et al. 1990. **Interior Cratonic Basins.** Cap. 33: The Paraná Basin, Brazil. Petrobrás, Rio de Janeiro.

Veículos movidos a hidrogênio: O que pensam os proprietários de veículos automotores a respeito dessa alternativa energética como substituto para os combustíveis de origem fóssil?

Hydrogen powered vehicles: What do motor vehicle owners think about this energy alternative as a substitute for fossil fuels?

Rogerio Vaz De Lima¹

Thiago Luis Felipe Brito²

Dominique Mouette³

Sumário: 1. Introdução. 2. Referencial Teórico. 3. Percepção do usuário sobre a tecnologia a hidrogênio. 4. Conclusão. Bibliografia.

Resumo: Diante da necessidade de substituição dos combustíveis convencionais por alternativas mais limpas, novas fontes de energia renovável são elencadas com maior urgência e importância. O hidrogênio por ser um elemento químico abundante no planeta; e com grande potencial energético em comparação aos combustíveis fósseis é um grande candidato para suprir a demanda por energia de baixo carbono. Esta pesquisa apresenta os desafios a serem superados na incorporação do hidrogênio como fonte energética alternativa para as demandas de combustíveis de baixo impacto ambiental atuais e futuras, assim como o posicionamento dos proprietários de veículos automotores em relação a sua adoção. Efetuou-se uma revisão bibliográfica de artigos científicos que abordaram os temas necessários para a construção dessa pesquisa, tais como: produção e armazenagem de hidrogênio, desafios dos veículos a hidrogênio, impactos do aquecimento global e percepção pública do hidrogênio como combustível veicular.

Palavras-chave: Desafios dos veículos a hidrogênio; produção e armazenagem de hidrogênio; preferência declarada hidrogênio, impactos e mudanças climáticas.

Abstract: Abstract: Faced with the need to replace conventional fuels with cleaner alternatives, new sources of renewable energy are listed with greater urgency and importance. Hydrogen is an abundant chemical element on the planet; and with great energy potential compared to fossil fuels is a great candidate to meet the demand for low carbon energy. This research presents the challenges to be overcome in the incorporation of hydrogen as an alternative energy source for current and future demands for low environmental impact fuels, as well as the positioning of motor vehicle owners in relation to its adoption. A bibliographic review of scientific articles was carried out that addressed the topics necessary for the construction of this research, such as: production and storage of hydrogen, challenges of hydrogen vehicles, impacts of global warming and public perception of hydrogen as a vehicular fuel.

Keywords: Challenges of hydrogen vehicles; hydrogen production and storage; declared preference hydrogen, impacts climate change.

1 Bacharelando em Gestão Ambiental, Universidade de São Paulo, rogerio_lima_sp@usp.br.

2 Doutor em Energia, Universidade de São Paulo, thiagobrito@usp.br.

3 Doutora em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, dominiquem@usp.br.

1. Introdução

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2018), o aumento da concentração de gases do efeito estufa, cuja principal fonte são os combustíveis fósseis, é uma das principais causas das mudanças climáticas atuais. Devido às consequências ambientais, pesquisas por fontes de energia limpa se tornam necessárias, uma vez que um aumento da temperatura acima dos níveis aceitáveis pode transformar de forma significativa toda a dinâmica da vida existente na Terra. Segundo Chiessi, em entrevista concedida a Arantes (2016) esse aumento na temperatura global pode elevar o nível das águas oceânicas por expansão térmica e pelo derretimento de geleiras na Groenlândia, implicando em alagamentos de regiões costeiras causando prejuízos econômicos e o comprometimento de vidas. O derretimento dessas geleiras pode afetar de forma negativa o desempenho da Célula de Revolvimento Meridional do Atlântico, definida como a gigantesca circulação de águas que controla os níveis de temperatura entre os hemisférios (ARANTES, 2016).

Tais implicações negativas não se esgotam nestes exemplos, e se ampliam, se pensada de forma sinergética. Sendo assim, é de grande importância todos os esforços em busca de soluções energéticas renováveis com o menor impacto ambiental possível sobre os biomas existentes. Uma vez que, o setor de transporte contribui com 25% das emissões globais de gases de efeito estufa e é a área em que as irradiações de carbono mais crescem desde 2000 (BRITO, 2018).

O Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2021), tem o hidrogênio como parte da estratégia brasileira. Este vetor energético é apresentado como uma tecnologia disruptiva no contexto da descarbonização da matriz energética. No caso da inserção de veículos elétricos no setor de transportes, o PNE 2050 aponta como perspectiva tecnológica o uso de células a combustível, com hidrogênio produzido a partir de biocombustíveis líquidos, de metano do gás natural ou do biometano.

Entretanto, a pesquisa sobre o uso de hidrogênio aponta para algumas grandes barreiras a serem vencidas: reduzir o custo de produção, aumentar a eficiência do uso em células a combustível, desenvolver novos materiais para catalisadores e armazenamento, e a aceitação da tecnologia por parte dos usuários. (HOSSEINI; BUTLER, 2020; CHAPMAN *et al.* 2019). Deste modo, o objetivo deste trabalho é avaliar esta literatura que buscou entender a preferência dos consumidores com relação ao uso veicular do hidrogênio.

2. Referencial Teórico

A descarbonização do sistema energético global é fundamental para limitar a temperatura da Terra a um aumento no máximo de dois graus Celsius, objetivo central do Acordo de Paris. O uso de hidrogênio tem o potencial de descarbonizar o consumo de energia, pois pode reduzir as emissões em vários setores como transporte, indústria e aquecimento de edificações (CHAPMAN *et al.* 2019). Neste cenário, pesquisas mostram que os veículos com células a combustível são opções adequadas para lidar com os desafios de redução dos gases de efeito estufa causados atualmente pelos veículos tradicionais a combustão (MEHRJERDI, 2019). Entretanto, o futuro destes veículos depende de avanços em seis áreas: a produção de hidrogênio; a infraestrutura de distribuição; o tanque de combustível de bordo, a célula de combustível de bordo, o custo final dos veículos, e sua adoção por parte dos usuários envolvidos (CHAPMAN *et al.* 2019); (TOLLEFSON, 2010).

A maior parte do hidrogênio em todo o mundo ainda é produzida pelo processo de reforma do metano a vapor, que usa reações químicas de alta temperatura para converter gás natural em hidrogênio puro. A eletrólise, um método alternativo, utiliza eletricidade para dividir a água em hidrogênio e oxigênio. Se a eletricidade utilizada para este processo for proveniente de energia solar ou eólica, todo

o ciclo de produção pode ser completamente livre de dióxido de carbono possibilitando menor impacto ambiental. (MURUGAN *et al.* 2019); (MARTIN *et al.* 2020).

Existem outras rotas para a produção desse vetor energético: o hidrogênio marrom ou preto, produzido de carvão mineral (de linhito é o “marrom” e de hulha ou antracito corresponde à cor “preta”) sem CCS ou CCUS (captura, utilização e armazenamento de carbono). Há também o hidrogênio cinza, produzido a partir do gás natural sem CCUS ou CCS e o hidrogênio azul, também gerado a partir de gás natural, mas com CCUS (eventualmente, se utiliza essa denominação também para o hidrogênio gerado a partir de outros combustíveis fósseis com CCUS). O hidrogênio turquesa é produzido a partir da pirólise do gás natural, tendo como resultado hidrogênio e carbono sólido. A eventual utilização do biometano quando combinado com a eletricidade advinda de fontes renováveis, resultaria nas chamadas “emissões negativas” (EPE, 2021).

Com relação a infraestrutura, independentemente do alcance, da sua autonomia de deslocamento, todo veículo precisa da disponibilidade de combustível em algum ponto. É aqui que reside o problema do ovo e da galinha do hidrogênio: de um lado os veículos com células de combustível nunca serão vendidos em grande escala até que haja uma rede viável de estações de serviço para abastecê-los. Do outro lado, ninguém vai investir capital necessário para criar uma infraestrutura de abastecimento até que haja uma frota significativa de veículos movidos a este combustível (MURUGAN *et al.* 2019). O Japão, por exemplo, tem o maior número de postos de combustível de hidrogênio do que qualquer outro país do mundo. Em março de 2021, havia 134 postos de abastecimento de hidrogênio em operação no país. A posição do Japão como fornecedor líder de combustível automotivo hidrogênio não é surpreendente, visto que as montadoras japonesas Toyota e Honda estão entre as únicas três fabricantes de automóveis no mundo que vendem carros a hidrogênio ao público. Nesse mesmo período, a Alemanha e a União Europeia eram o lar de 90 e 140 postos de abastecimento desse vetor energético. (STATISTA, 2021).

Outra questão desafiadora na transição para o hidrogênio como combustível veicular é o seu armazenamento, a bordo dos veículos. A tecnologia de armazenamento empregada para veículos a hidrogênio pode influenciar drasticamente o custo final do veículo, a autonomia, o desempenho e o consumo energético, como também estabelecer a escalabilidade e os requisitos de investimento. O hidrogênio líquido requer tanques isolados a -253 °C, exigindo assim tecnologia específica para sua armazenagem. Por isso, a maioria das empresas optou por comprimir o hidrogênio dentro de tanques de alta resistência produzidos em fibra de carbono. Outras tecnologias viáveis para armazenar o hidrogênio em carros, além do gás em sua forma comprimida, são a adsorção de hidreto de metal e o líquido criogênico e menciona que no entanto, cada uma delas tem desvantagens significativas que devem ser melhoradas tal como: o volume, o peso, perdas por ebulação, ou energia para comprimir ou liquefazer o hidrogênio (ABDALA *et al.* 2018).

Graças à característica de “combustível sustentável” atribuída ao hidrogênio, os veículos com células de combustível de hidrogênio (HFCEVs) podem ser considerados uma opção de transporte de baixo impacto ambiental comparado aos veículos convencionais. Como a eficiência energética da célula a combustível de hidrogênio é alta, a substituição dos motores de combustão interna por veículos com célula a combustível de hidrogênio contribuirá para o desenvolvimento da tecnologia. A célula a combustível de hidrogênio é uma tecnologia que transforma hidrogênio em eletricidade (HAMES *et al.* 2018). Uma célula de combustível, de forma simplificada, é um dispositivo que utiliza o oxigênio do ar e o hidrogênio de um tanque, numa reação de forma controlada para produção de vapor d'água e energia elétrica. Em um veículo, essa energia pode ser direcionada por meio de um motor elétrico comum para girar as rodas. Para controlar a reação e extrair a corrente elétrica, é necessária uma

montagem sofisticada, incluindo bicos, membranas e catalisadores. Surge assim um desafio pautado em como colocar toda essa complexidade em um dispositivo que seja leve, barato, robusto e com durabilidade aceitável, além de oferecer eficiência para uma aceleração rápida e atender a demanda energética dos outros sistemas do veículo (TOLLEFSON, 2010).

3. Percepção do usuário sobre a tecnologia a hidrogênio

Se os aspectos técnicos da energia do hidrogênio parecem primordiais, também é importante focar nos usuários finais desses sistemas. De fato, os usuários desempenham um papel importante no sucesso de implantação das tecnologias energéticas: eles podem, por exemplo, não aceitá-lo ou não usá-lo como pretendido. Estudos indicam que os usuários finais são percebidos principalmente como uma barreira para a implantação de Sistemas de Energia a Hidrogênio, ou como um parâmetro a ser avaliado e não como um recurso para o projeto ou uma fonte de inovação (MARTIN *et al.* 2020).

Em 2015, foi realizado um levantamento no Japão, abordando o conhecimento da população sobre a percepção e aceitação desse vetor energético como combustível veicular. Adotando as mesmas questões contidas nas pesquisas realizadas em anos anteriores, o estudo demonstrou que a consciência e o conhecimento sobre o hidrogênio como fonte energética para veículos aumentaram devido ao crescimento dos postos de abastecimento e à publicidade na mídia. Entretanto, questões como os riscos e os benefícios desta tecnologia ainda são alvos de discussões por parte dos respondentes do estudo realizado. (ITAOKA, SAITO e SASAKI, 2016).

Emodi *et al.* (2021) realizaram uma revisão da literatura sobre os fatores que influenciam a aceitação da sociedade e as percepções das partes interessadas sobre as tecnologias relacionadas ao hidrogênio. Os autores concluíram, que nos nove países estudados⁴, as variáveis de maior influência no processo decisório eram: o conhecimento prévio, os custos e riscos percebidos, o conhecimento ambiental, a educação superior, renda, benefícios pessoais e distributivos, disponibilidade de infraestrutura e proximidade de instalações de hidrogênio. Houve baixa conscientização sobre o hidrogênio em mais de 60% dos países analisados nos estudos revisados. Embora as partes interessadas tivessem percepções diversas, houve um acordo de que a disponibilidade de infraestrutura, acessibilidade, envolvimento da comunidade local, desenvolvimento de habilidades regionais, preservação da biodiversidade, e os benefícios de segurança e distribuição para a comunidade seriam essenciais para o sucesso da indústria de hidrogênio.

Se considerarmos o processo de desenvolvimento tecnológico como um *continuum* desde seu estágio inicial, onde a pesquisa fundamental se transforma em pesquisa aplicada ou desenvolvimento, até o momento em que uma tecnologia é implantada no mercado, é possível incluir a consideração dos usuários a cada momento. No entanto, quanto mais cedo os usuários são levados em conta, maiores são as capacidades de ação e menores são os custos associados à adaptação da tecnologia (MARTIN *et al.* 2020).

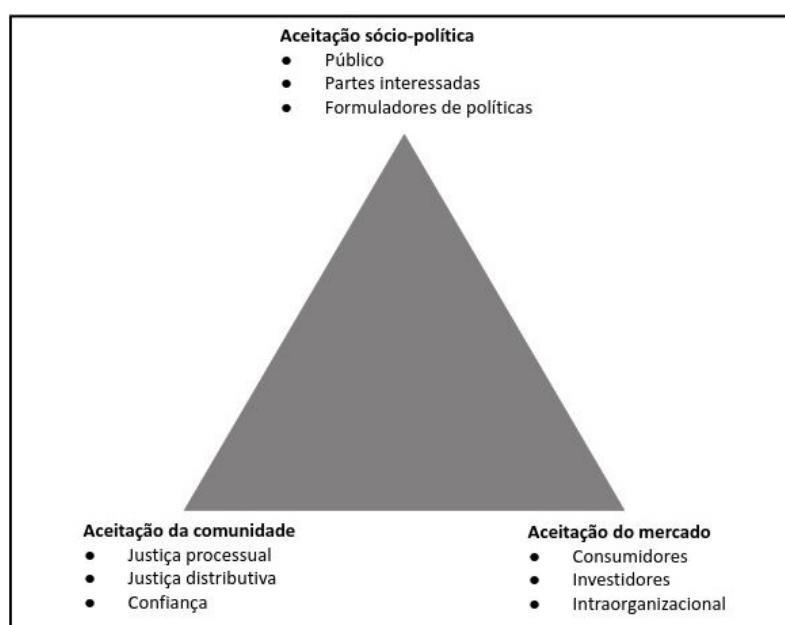
As percepções do público, conhecimento, opinião, atitude e eventual aceitação diferem entre os diferentes grupos de partes interessadas que podem ser impactados direta ou indiretamente pela indústria de hidrogênio. Por exemplo, o hidrogênio pode ser aceito pelos formuladores de políticas, mas a comunidade pode se opor à instalação de usinas e infraestrutura, enquanto os consumidores podem estar preocupados com o custo ou a segurança do uso do hidrogênio. Em outras palavras, a aceitação do hidrogênio pode variar quando examinamos a aceitação sociopolítica, de mercado e da comunidade.

⁴ Finlândia, Japão, Holanda, Austrália, Estados Unidos (somente estado da Califórnia), Alemanha, Espanha, Eslovênia e Reino Unido

Os estudos de percepção sobre o hidrogênio podem ser usados para entender como as pessoas se sentem sobre as tecnologias de energia do hidrogênio e suas aplicações. Eles desempenham um papel importante na compreensão do comportamento do consumidor e no aumento da aceitação social de novas tecnologias de energia, como o hidrogênio. O termo “parte interessada” refere-se a um indivíduo, entidade ou grupo de pessoas com interesse, envolvimento ou investimento em uma atividade de interesse.

As partes interessadas tais como, especialistas, adotantes iniciais, potenciais usuários finais ou membros do público em geral, na economia do hidrogênio, podem ter visões, valores ou limitações diferentes, às vezes conflitantes, com base em seu envolvimento ou nível de interação com tal tecnologia. Por exemplo, um membro do público em geral pode estar preocupado com o custo de tal vetor energético e seus problemas de segurança enquanto os primeiros adotantes podem se concentrar no desempenho e na disponibilidade da infraestrutura; os especialistas do setor, por sua vez, podem estar interessados em colaborações do governo e do setor para reduzir o custo de produção de hidrogênio por meio de incentivos, ou melhorando a segurança por intermédio de regulamentos e padrões. As perspectivas coletivas de diferentes partes interessadas na economia do hidrogênio podem ser simplificadas para reduzir o conflito nas decisões políticas e aumentar a abrangência dos mecanismos para apoiar a aceitação e sua difusão no mercado, conforme demonstrado na Figura 1 (EMODI *et al.* 2021).

Figura 1 - Triângulo da aceitação de novas tecnologias



Fonte: Wüstenhagen, Wolsink e Bürer (2007).

Segundo Emodi *et al.* (2021) as percepções das partes interessadas são muitas vezes complexas e/ou influenciadas por fatores psicológicos ou individuais contextuais e ao tipo, escala e disponibilidade da tecnologia. Em países como Japão, Coréia do Sul e China, intensivos em energia, a aceitação sociopolítica do hidrogênio é alta devido à sua aplicação de longa data em atividades energo-intensivas, como a produção de aço ou cimento. Isso contribui para o crescimento econômico por meio da criação de novos empregos, segurança energética, expansão das atividades comerciais e efeitos indiretos (FINKEL, 2019 appud EMODI *et al.* 2021).

Na arena da aceitação de tecnologias de hidrogênio, ao nível de comunidade. É importante avaliar os programas compostos por agências e autoridades locais, organizações ou moradores que vivem em um bairro ou comunidade. A estética, os benefícios distributivos, os valores ambientais e os custos compartilhados geralmente determinam o nível de aceitação ou resistência pela mesma. O efeito NIMBY (Not-In-My-Back-Yard) geralmente se desenvolve quando os custos compartilhados de situar uma tecnologia neste caso, usina de célula a combustível de hidrogênio em uma comunidade

superam os benefícios distributivos. As necessidades e opiniões dos membros da comunidade geralmente são fatores-chave que podem afetar significativamente o processo de discussão, planejamento e implementação do projeto. Além disso, a aceitação da comunidade não é estática, pois as opiniões e atitudes dos membros da comunidade podem mudar quando um projeto progride desde o anúncio inicial, início e conclusão de sua implantação, pois fatores como confiança da comunidade, justiça distributiva e processual se alteram ao longo do tempo (EMODI *et al.*, 2021).

A aceitação por parte do mercado refere-se à adoção e difusão de tecnologias de hidrogênio nos mercados. Nessa dimensão, a tecnologia do hidrogênio é adotada por consumidores, investidores, fornecedores e demais entidades do mercado. Como a aceitação desta tecnologia por parte destes stakeholders é mais subjetiva em comparação com a aceitação sócio-política, a adoção da mesma pode ser mais rápida com projetos de demonstração para aumentar a conscientização do consumidor e os processos de adoção. Investidores e empresas desempenham um papel significativo como partes interessadas, influenciando a comercialização de tecnologia e a formulação de políticas. Por exemplo, para a implantação de veículos movidos a células de combustível de hidrogênio, as empresas podem influenciar as partes interessadas envolvidas no desenvolvimento de políticas energéticas que criem um ambiente propício para a indústria de hidrogênio (EMODI *et al.*, 2021). Além disso, os consumidores como investidores no mercado de energia contribuem para o processo de difusão tecnológica à medida que adotam ou mudam para tecnologias de hidrogênio; eles aumentam a taxa de aceitação social mudando as percepções do público e reduzindo as barreiras à aceitação da tecnologia de hidrogênio. (EMODI *et al.* 2021).

4. Conclusões

A pesquisa social que investiga a aceitação e percepção pública da tecnologia do hidrogênio recebeu atenção considerável nas últimas décadas. Este trabalho mostra que o aumento no número de artigos científicos focados na percepção dos principais interessados é um sinalizador de que a comunidade de pesquisa acadêmica, está comprometida em estabelecer uma economia do hidrogênio para este vetor energético e reconhece a importância da sua aceitação social. À medida que as economias e as tecnologias de energia se tornam mais avançadas no futuro, a percepção da sociedade ganha um papel vital na difusão tecnológica.

Observou-se que o conhecimento prévio, custo/riscos percebidos, conhecimento ambiental, educação superior e renda, benefícios pessoais e distributivos e disponibilidade de infraestrutura são os fatores mais importantes que influenciam a aceitação pela sociedade. Para garantir uma aceitação social mais ampla e uma difusão bem-sucedida do hidrogênio no mercado, é necessário um envolvimento público por meio de programas educacionais com informações sobre o uso e a indústria deste combustível (EMODI *et al.* 2021).

O custo precisa ser minimizado em toda a cadeia de fornecimento com melhoria da eficiência, o que reduzirá o preço e aumentará a competitividade do hidrogênio perante as demais opções. O hidrogênio poderá desempenhar um papel significativo no futuro sistema de energia como uma solução flexível para combinar a produção renovável com a demanda. Isso é vital para uma transição energética sustentável, pois apoiará o esforço global para combater as mudanças climáticas por meio da descarbonização do sistema energético.

Estudos futuros podem desenvolver pesquisas focadas em mercados locais (como cidades ou regiões metropolitanas), com o intuito de conhecer as percepções do consumidor brasileiro sobre o hidrogênio. Diversos modelos podem ser utilizados para tais pesquisas como escolha discreta, preferência declarada, análise volumétrica e análise conjunta. Espera-se com isso entender as barreiras e oportunidades para a inserção desta tecnologia no contexto brasileiro.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Bibliografia

- ABDALLA M.A. et al. **Hydrogen production, storage, transportation and key challenges with applications: A review** Energy Conversion and Management Volume 165, 1 June 2018.
- ARANTES, José Tadeu. **Aquecimento poderá reduzir em 44% a grande circulação das águas do Atlântico | AGÊNCIA FAPESP**. Disponível em: <<https://agencia.fapesp.br/aquecimento-podera-reduzir-em-44-a-grande-circulacao-das-aguas-do-atlantico/23015/>>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- BRITO, D. **Efeito estufa: transporte responde por 25% das emissões globais | Agência Brasil**. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2018-12/efeito-estufa-transporte-responde-por-25-das-emissoes-globais>>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- CHAPMAN, ANDREW et al. 2019 **A review of four case studies assessing the potential for hydrogen penetration of the future energy system**. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036031991930326X?via%3Dihub> Acesso em 10 jan. 2022.
- EMODI, NNAEMEKA VINCENT et al. **A systematic literature review of societal acceptance and stakeholders' perception of hydrogen technologies** NV - International Journal of Hydrogen, 2021.
- EPE - Empresa brasileira de pesquisa energética - Nota Técnica - **Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio**. 2021.
- HAMES, Y. et al. **Analysis of the control strategies for fuel saving in the hydrogen fuel cell vehicles**. International Journal of Hydrogen Energy Volume 43, Issue 23, 7 June 2018.
- HOSSEINI, S. E.; BUTLER, B. An overview of development and challenges in hydrogen powered vehicles. v. 17, n. 1, p. 13–37, 2 jan. 2019.
- IPCC 2018 - **Painel Intergovernamental sobre mudanças climáticas. Sumário para Formuladores de Políticas**
- ITAOKA, A.; SAITO; SASAKI, K. - **Public perception on hydrogen infrastructure in Japan: influence of rollout of commercial fuel cell vehicles** - International Journal of Hydrogen Energy, 2017.
- MARTIN, A. **Users in the design of Hydrogen Energy Systems: A systematic review** International Journal of Hydrogen Energy Volume 45, Issue 21, 17 April 2020.
- MEHRJERDI, H. - **Off-grid solar powered charging station for electric and hydrogen vehicles including fuel cell and hydrogen storage** - Elsevier - International Journal of Hydrogen Energy - Volume 44, Issue 23, 3 May 2019.
- MURUGAN, A. et al. (2019) **Measurement challenges for hydrogen vehicles** International Journal of Hydrogen Energy Volume 44, Issue 35, 19 July 2019.
- O'GARRA, T.; MOURATO, S.; PEARSON, P. - **Analyzing awareness and acceptability of hydrogen vehicles: A London case study** - International Journal of Hydrogen Energy - Elsevier - Volume 30, Issue 6, May 2005.
- STATISTA - **Number of hydrogen fueling station for road vehicles worldwide as of 2021, by country**. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1026719/number-of-hydrogen-fuelstations-by-country/>> Acesso em: 11 nov. 2021.

TOLLEFSON, J - **Hydrogen vehicles: fuel of the future?** Nature News, 2010 - nature.com Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/4641262a>> Acesso em: 20 out. 2021.

WÜSTENHAGEN, R.; WOLSINK, M.; BÜRER, M. J. Social acceptance of renewable energy innovation: An introduction to the concept. **Energy Policy**, v. 35, n. 5, p. 2683–2691, 1 maio 2007.

Aplicação do Dynamic Line Rating para minimizar o Market Split no MIBEL.

Dynamic line rating application to minimize Market Splitting in MIBEL

{Rui Pestana, Cao Yang, João Esteves, Isabel Alvite, Nuno Souza E Silva}¹

{Ana Estanqueiro, Joaquim Duque, António Couto, Hugo Algarvio, Teresa Simões}²

Sumário: 1. Introdução. 2. Caso de Estudo A. 3. Caso de Estudo B. 4. Caso de Estudo C. 4.1 Metodologia. 5. Conclusão. Bibliografia.

Resumo: Os objetivos definidos pela União Europeia para 2030 no acordo de Paris, sobre a penetração das energias de fontes renováveis, tornaram-se num dos grandes desafios para muitos países reforçarem as respetivas redes elétricas de transmissão e distribuição.

Para atingir tais objetivos, o projeto OPTIGRID (PTDC / EEI-EEE / 31711/2017) financiado pela FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia) propõe a aplicação de *Dynamic Line Rating* (DLR) na rede elétrica para melhorar a capacidade de transmissão, pois fornece uma análise mais realista das linhas aéreas face às técnicas tradicionais (*Static Line Rating - SLR*). Este projeto propõe e analisa recorrendo a três casos de estudo, onde é aplicado o DLR, o impacto que esta solução tem para aliviar o congestionamento da rede e os custos de operação enquanto permite incrementar a penetração das energias renováveis na rede. O primeiro caso de estudo é situado numa região montanhosa no Centro/Norte de Portugal onde existe uma elevada penetração de aproveitamentos de **energia eólica**. O segundo caso de estudo fica situado numa região no sul de Portugal, onde, devido às suas condições orográficas e disponibilidade de recursos tornam uma região ideal para a conversão de **energia fotovoltaica**. O terceiro caso de estudo foca-se na análise do **Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL)**, mais concretamente nos cenários em que a separação de mercados ocorre. Esta separação de mercados (*Market Split*), faz com que existam diferenças entre os preços de eletricidade nos dois países, Portugal e Espanha.

Palavras-chave: Dynamic Line Rating, Energias renováveis, Market Split, MIBEL.

Abstract: The European Union objectives for 2030, set by the Paris agreement, regarding renewable energy sources create, in many cases, a big challenge for many countries since its compliancy may impose the reinforcement of their respective transmission and distribution electrical grids. To help achieve these objectives, the project OPTIGRID (PTDC / EEI-EEE / 31711/2017) financed by FCT (Fundação para a Ciência e Tecnologia) applies a Dynamic Line Rating (DLR) analysis to the electrical network to improve the transmission capacity, thus providing a more realistic analysis of overhead lines when compared to the traditional techniques (Static Line Rating - SLR). This project uses three case studies that apply a DLR analysis to the overhead lines to assess its impact on relieving grid congestion, its operating costs, and to study the penetration of renewable energies in the grid. The first case study is located in a mountainous region in the Center/North of Portugal where there is a high penetration of **wind power**. The second case study is located in the South of Portugal, where the orographic conditions and resource availability make this region an ideal case study for **photovoltaic energy** conversion. The third case study focuses on the analysis of the **Iberian Electricity Market (MIBEL)**, specifically for the

¹ Centro de Investigação em Energia REN - State Grid, S.A., R&D NESTER, Rua Cidade de Goa, nº 4-B, 2685-038 Sacavém. Telefone: +351210011300. Email: rui.pestana@rdnester.com

² Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG)

scenarios in which the separation of markets occurs, since the separation of the markets (Market Split) causes differences between the electricity prices in the two countries, Portugal and Spain.

Keywords: Dynamic Line Rating, Renewable Energy, Market Split, MIBEL.

1. Introdução

Nos últimos anos, os fortes investimentos nas energias renováveis em Portugal visaram atingir objetivos de descarbonização da sociedade, de acordo com as metas definidas pela União Europeia para 2030 no acordo de Paris, reforçando ou melhorando a sua rede de transmissão e distribuição.

Reforçar a rede de transmissão e distribuição, com a construção de novas linhas torna-se um desafio, devido ao elevado tempo de planeamento e construção das ditas linhas (geralmente demoram entre 5-10 anos), aos seus elevados custos e à disponibilidade de espaços para construção levando a um grande impacto ambiental.

Para evitar esta situação, uma das soluções passa por deixar de usar limites estáticos (SLR) para o cálculo da capacidade de transmissão das linhas aéreas, e aplicar limites dinâmicos (DLR). Por outras palavras, deixar de aplicar uma abordagem conservadora com o uso de condições atmosféricas constantes durante um largo período de tempo para o cálculo da capacidade e passar a aplicar uma abordagem onde haja uma monitorização direta dos parâmetros físicos dos condutores (e.g. temperatura das linhas) e/ou uma monitorização indireta (e.g. velocidade e direção do vento) para o cálculo da capacidade.

2. Caso de Estudo A

O primeiro caso de estudo considera o Centro/Norte de Portugal, para o ano de 2018, que sendo uma zona montanhosa fornece condições favoráveis para o aproveitamento de energia eólica. Esta zona é constituída por 49 parques eólicos com um total de 1766 MW de capacidade instalada e 15 centrais hidrálicas com uma capacidade instalada de 1113 MW.

Devido às perdas de calor que se verificam nas linhas de transmissão, causadas pelas condições do vento através da transferência de calor convectiva, o efeito do vento torna-se um fator importante para o balanço térmico dos condutores aéreos, melhorando assim, a capacidade de transmissão em períodos em que a intensidade do vento é elevada. Desta forma, devido às condições atmosféricas típicas, este caso de estudo foi escolhido para avaliar o impacto da aplicação do DLR nas linhas aéreas presentes nesta zona.

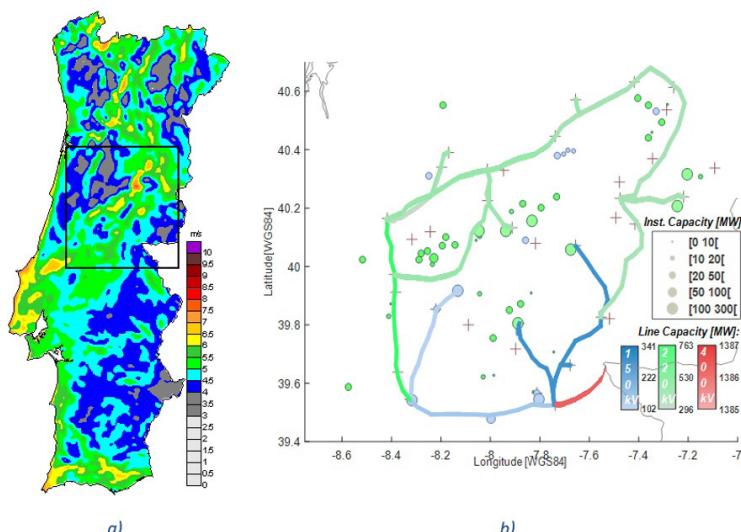


Figura 1 - Caso de estudo A e capacidade nominal da geração das fontes de energia renovável (LNEG, 2020)

Na **Figura 1** estão representados em a) a velocidade do vento nas diversas regiões de Portugal (na caixa a preto encontra-se a região do primeiro caso de estudo), e em b) a região do primeiro caso de estudo com as suas capacidades instaladas, onde os círculos azuis representam a geração hídrica, os círculos verdes representam a geração eólica e o símbolo “+” representa as subestações.

A metodologia para aplicação do DLR no caso de estudo A, é descrita no artigo científico submetido pelo LNEG e R&D Nester (Couto, et al., 2020), onde os valores da capacidade das linhas de transmissão são obtidos da maneira convencional (SLR) e comparados com os resultados das novas capacidades calculadas após aplicação do DLR.

3. Caso de Estudo B

O segundo caso de estudo considera o sul de Portugal, para o ano de 2018, onde, devido às suas condições orográficas e disponibilidade de recursos o tornam uma região ideal para a conversão de energia fotovoltaica.

Uma vez que neste momento a potência fotovoltaica instalada em Portugal ainda está em fase de expansão, pequenas alterações foram feitas na rede para a simulação do impacto de um acréscimo de 800-1000 MW na potência fotovoltaica instalada conectada à rede de transporte no sul de Portugal. Desta forma, esta zona foi escolhida para avaliar o impacto do DLR devido ao elevado potencial solar presente no sul de Portugal e também devido à limitação da capacidade presente na rede.

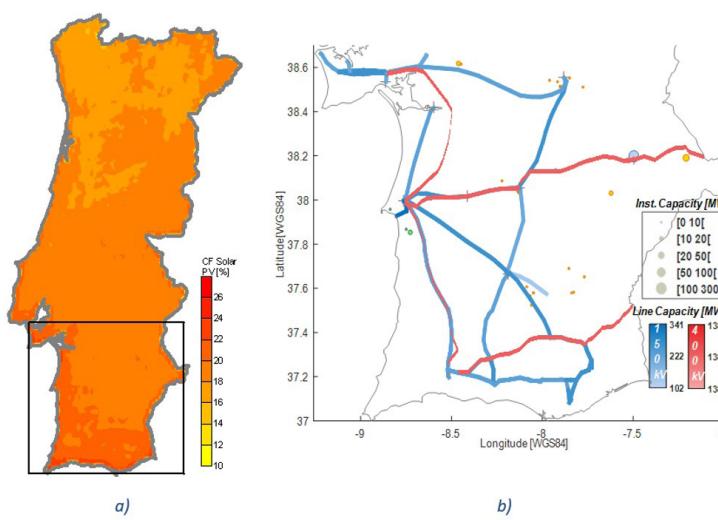


Figura 2 - Caso de estudo B e capacidade nominal da geração das fontes de energia renovável (LNEG, 2020).

Na **Figura 2** estão representados em a) o fator de capacidade da energia fotovoltaica em Portugal (na caixa preta encontra-se a região do segundo caso de estudo), e em b) a região do segundo caso de estudo com as suas capacidades instaladas, onde os círculos azuis representam a geração hídrica, os círculos amarelos representam a geração fotovoltaica e o símbolo “+” representa as subestações.

A metodologia para aplicação do DLR no caso de estudo B, é descrita no artigo científico submetido pelo LNEG e R&D Nester (Couto, et al., 2020).

4. Caso de Estudo C

O terceiro caso de estudo foca-se na análise do Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL), mais concretamente nos cenários em que a separação de mercados ocorre. Esta separação de mercados (*Market Split*), faz com que existam diferenças entre os preços de eletricidade nos dois países, Portugal e Espanha.

Durante o ano de 2018 e 2019, verificou-se um total de 5% do número total de horas em que houve separação de mercados, e em 2020 esse número de horas foi reduzido a 4%. Este caso de estudo foi escolhido para avaliar o impacto do DLR nas linhas de interligação (Figura 3), para permitir

o cálculo do aumento da capacidade nessas linhas e o possível incremento na capacidade comercial entre Portugal e Espanha. Este aumento pode permitir assim reduzir o número total de horas onde se verifica separação de mercados no MIBEL.

A Figura 3 representa uma localização aproximada das linhas de interligação em estudo, onde as linhas de 400 kV estão representadas a vermelho e as de 220 kV estão representadas a verde.

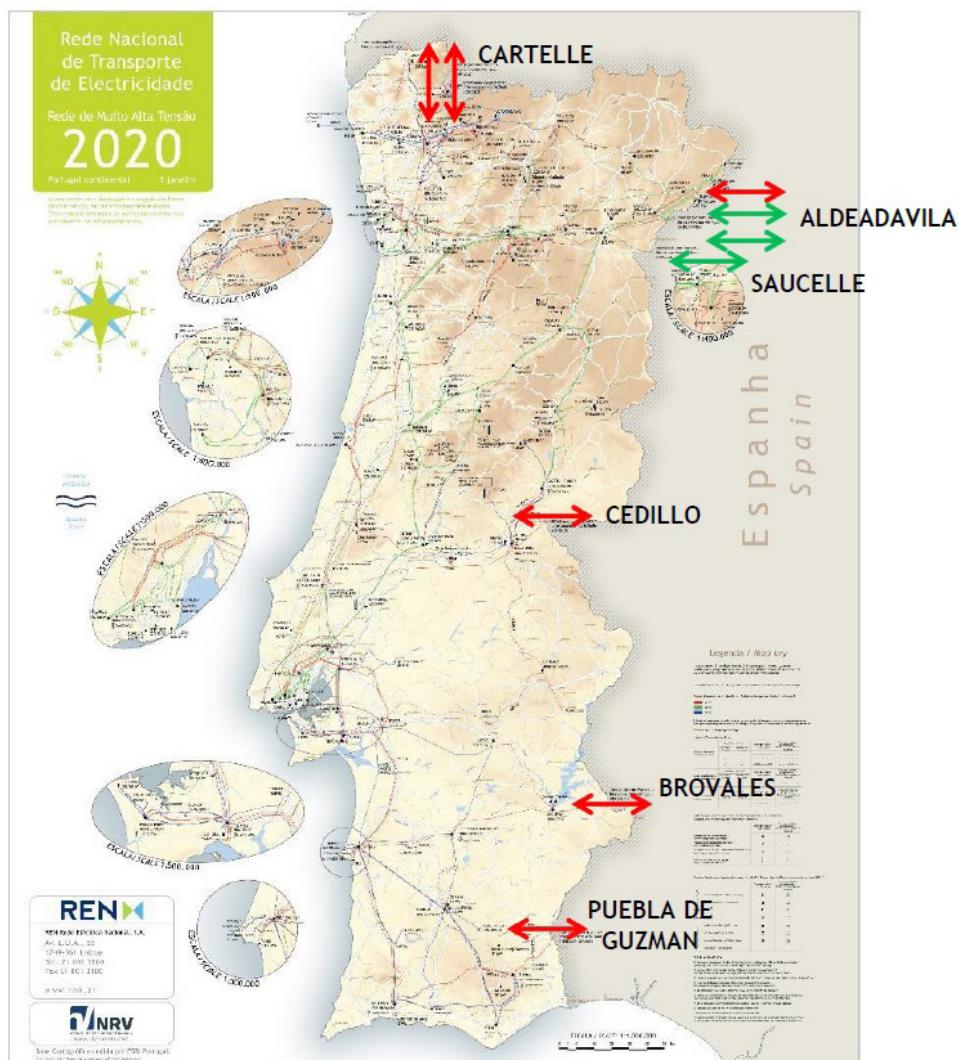


Figura 3 - Linhas de interligação de 400 kV e 220 kV entre Portugal e Espanha (REN - REDE ELÉTRICA NACIONAL, S.A., 2020).

A caracterização das linhas de interligação entre Portugal e Espanha encontra-se presente no **Quadro 1**. Neste quadro são apresentadas para cada linha as tensões respetivas, o comprimento total e o comprimento das linhas no lado português e espanhol e indicadas as trocas de energia entre Portugal e Espanha durante o ano de 2020.

Quadro 1 - Caracterização das linhas de interligação entre Portugal e Espanha em 2020.

Interligação	Tensão	Comp.PT	Comp.ES	Comp. Total	Comp.PT	Importação	Exportação
	[kV]	[km]	[km]	[km]	[%]	[MWh]	[MWh]
Alto Lindos - Cartelle 1	400	1,118	47,680	48,798	2,3%	1604	510
Alto Lindos - Cartelle 2	400	1,118	47,680	48,798	2,3%	1586	509
Lagoaça - Aldeadavila	400	4,687	1,537	6,224	75,3%	797	2518
Pocinho - Aldeadavila 1	220	41,129	0,378	41,507	99,1%	273	202
Pocinho - Aldeadavila 2	220	41,310	0,378	41,688	99,1%	277	204

Pocinho - Saucelle	220	30,222	0,100	30,322	99,7%	287	191
Falagueira - Cedillo	400	26,151	0,245	26,396	99,1%	812	934
Alqueva - Brovales	400	39,899	40,970	80,869	49,3%	1255	569
Tavira - Puebla de Guzmán	400	33,806	25,170	58,976	57,3%	663	460

Embora existam mais linhas de interligação, tais como 130 kV Lindoso-Conchas, 60 kV Elvas-Badajoz e 15 kV Vila Verde de Ficalho-Rosal de la Frontera essas linhas foram excluídas do estudo devido à falta de trocas físicas registadas nessas mesmas linhas.

4.1. Metodologia

A Figura 4 mostra a evolução da capacidade de interligação entre Portugal e Espanha ao longo dos anos, nomeadamente a importação e exportação verificadas nas linhas de interligação anteriormente referidas.

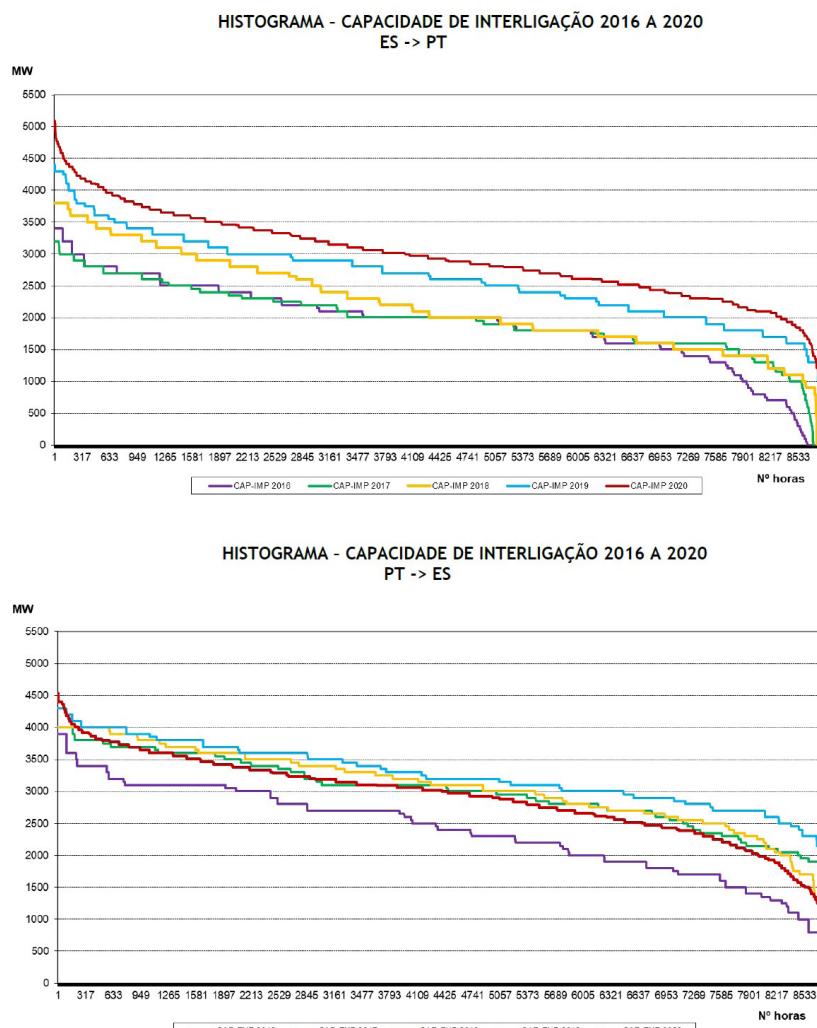


Figura 4 - Evolução da capacidade de interligação entre 2016 e 2020 (REN - REDE ELÉCTRICA NACIONAL, S.A., 2020).

Ao longo dos anos tem se verificado um aumento da capacidade de importação, devido aos valores acima da média verificadas nas capacidades de interligação durante a primavera e o verão.

Com base na análise da figura anterior, nota-se uma tendência crescente na capacidade de exportação devido às condições hidrológicas favoráveis verificadas em alguns dos últimos anos, assim como a abertura de novos centros produtores hídricas, exceto no ano de 2020 onde houve uma menor exportação, valor somente superior ao que foi verificado em 2016.

Em 2020 houve um decréscimo na capacidade de exportação, pois foi, ocasionalmente, necessário reduzir a capacidade comercial depois do mercado day-ahead, como forma para garantir os níveis de reserva da geração assim como manter a reserva de capacidade necessária para o sistema.

As constantes trocas que ocorrem no MIBEL entre Portugal e Espanha levam por vezes ao mecanismo de separação de mercados também conhecido como Market Splitting, este mecanismo ocorre quando a capacidade de interligação comercialmente disponível não suporta o fluxo de energia transfronteiriço. A **Figura 5** demonstra a evolução das trocas de energia ocorridas no MIBEL ao longo dos anos e também a percentagem dos períodos onde houve congestão na rede e *market splitting*.

	2016		2017		2018		2019		2020	
	IMP	EXP								
Capacidade [MW]										
Média M. Diário	1 935	2 392	1 996	3 005	2 221	3 096	2 636	3 277	2 977	2 960
Média	1 928	2 391	2 000	3 016	2 230	3 050	2 619	3 273	2 970	2 925
Utilização [%]	12%	34%	18%	22%	15%	21%	31%	13%	25%	19%
Programa Final[GWh]	1 972	7 056	3 071	5 756	2 996	5 650	7 035	3 640	6 397	4 942
Mercado Diário e Intradíario	1 796	7 020	2 915	5 715	2 898	5 623	6 964	3 572	6 231	4 837
Preço Ponderado [€/MWh]	39.10	39.10	49.70	55.20	51.80	57.60	43.30	44.70	26.60	37.40
Ações Coordenadas Balanço	0	0	0	2	1	1	2	3	0	14
Reserva Total	176	36	156	39	98	26	69	65	166	91
Períodos c/ Congestionamento [%]	1%	7%	3%	2%	3%	2%	6%	1%	3%	3%
Periodos c/ Separação Mercados MD [%]	8%		7%		5%		5%		4%	
Receita Congestionamento PT [k€]	2 604		2 499		2 538		2 083		1 286	

Figura 5 - Trocas de energia verificadas e períodos com congestão e separação de mercados entre 2016 e 2020 (REN, 2021).

A metodologia por trás deste caso de estudo passa por usar limites estáticos para o cálculo da capacidade de interligação (**Figura 5**), e depois calcular a “nova” capacidade usando limites dinâmicos. Posteriormente, ver e comparar o impacto do uso do DLR na capacidade comercial e também o impacto na redução no número de horas de Market splitting.

5. Conclusões

No caso de estudo A, verifica-se uma correlação positiva após a aplicação do DLR, onde se notou um aumento na energia eólica a ser produzida e também um aumento na capacidade de transporte. Isto deveu-se a uma maior intensidade do vento, fator que contribui para o arrefecimento das linhas elétricas.

No caso de estudo B, verifica-se uma correlação negativa relativamente ao aumento de energia solar a ser produzida e a capacidade de transporte. Isto deveu-se à radiação solar verificada no local, que contribui para um aquecimento das linhas elétricas presentes. Esta situação verifica-se essencialmente em períodos onde a velocidade do vento apresenta uma intensidade fraca.

No caso de estudo C, para o ano de 2020, os resultados estão demonstrados na Figura 6, onde mostra o número de horas onde houve Market Splitting. Após a aplicação de limites dinâmicos (DLR) o número de horas são inferiores comparativamente com a aplicação de limites estáticos (SLR).

Importação (+) = 193 h (2,2%)

HORA	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Sum
1		1	1							1			3
2			3	2	2					1	1		9
3	1	2	4	2				1		1	1		12
4	1	2	4	1			1	1		1	1	2	14
5	1	2	4	1				2		1	1	2	14
6		1	2	2						1	2		8
7		1	1					2		1	4		9
8		1	1	1				1		1	2		7
9		2	1							1	2		6
10		1		1	1					1	1		5
11	1		2	2			1			1			7
12	1	1	2	3		1	1			2	1		12
13	1	1	1	1	1		1			1			7
14	1	1	1	1	1			1		2			8
15	2	3	1	1	1					2			10
16	5	4	1	5	2		1		1	2			21
17	6	4	2	6	2		2		1				23
18	2	1	2	3	1		1						10
19	1	1	1	1									4
20		1		1									2
21			1										1
22													0
23													0
24		1								1			

Exportação (-) = 165 h (1,9%)

HORA	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Sum
1													0
2													0
3													0
4													0
5													0
6													0
7													0
8	4									1	2	3	3
9	7	3								1	5	6	6
10	5									3	5	4	2
11	4									1	3	1	
12	3									2	2	1	1
13	1							1		2	1	1	
14	1							1		1	1		5
15	1									1	2		4
16	1												1
17	1												1
18	1								1	1	4		7
19	4									2	3	1	
20	4									3	4	1	
21	2									4	2	3	
22	2									1	6	1	
23										3			4
24										1			2

Figura 6 - Número de horas onde ocorre *Market Splitting* após aplicação do DLR.

Concluindo, este estudo serviu para determinar que existe um maior potencial para aplicação do DLR no norte de Portugal, e que é expectável que o número de horas onde ocorre *Market Splitting* entre Portugal e Espanha sejam reduzidas após aplicação do DLR nas linhas de interligação. Este número horas pode ser reduzido parcialmente, mas nunca na sua totalidade.

Bibliografia

- Couto, A., Duque, J., Algarvio, H. A., Estanqueiro, A., Pestana, R., João, E., & Cao, Y. (26-28 de Outubro de 2020). Impact of the dynamic line rating analysis in regions with high levels of wind and solar PV generation. 2020 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe).
- LNEG. (2020). D2.1 - Validation of transmission network and MIBEL data. Obtido de <https://optigrid.lneg.pt/wp-content/uploads/2021/12/OPTIGRID-D2.1-1.pdf>.
- REN - REDE ELÉCTRICA NACIONAL, S.A. (2020). Caracterização das interligações. Obtido de <https://www.mercado.ren.pt/PT/Electr/ActServ/AcessoRedes/CaractRNT/Paginas/Inter.aspx>.
- REN. (2021). Mercado Eletricidade Síntese Anual 2016-2020.

Distribuição Espacial de Emissões Veiculares na Região Metropolitana de São Paulo e na Região Metropolitana de Campinas

Spatial Distribution of Vehicle Emissions in the Metropolitan Region of São Paulo and in the Metropolitan Region of Campinas

Sarah Vilela Gimenes Da Silva¹

Ludmila Mello De Amorim²

Vitória Souza Diniz³

Dominique Mouette⁴

Flávia Noronha Dutra Ribeiro⁵

Sumário: 1. Introdução. 2. Objetivo. 3. Metodologia. 4. Resultados e Discussão . 5. Conclusão

Resumo: Regiões metropolitanas são marcadas pelo intenso crescimento populacional acompanhado pela extensa frota veicular. Apesar desses dois elementos poderem representar indicativos de desenvolvimento econômico, a dependência de combustíveis fósseis e a lenta transição energética para o uso de biocombustíveis os tornam agentes capazes de intensificar problemas ambientais. Isto porque os veículos que possuem motores à combustão interna geram poluentes que são lançados na atmosfera e assim os transportes rodoviários se tornam responsáveis por pelo menos 90% das emissões de gases poluentes e do dióxido de carbono (CO₂), que é um gás de efeito estufa. Logo, estes veículos assumem a responsabilidade por uma parte significativa não apenas do aquecimento global, mas também da poluição atmosférica, que não somente impactam o meio ambiente, como também colocam em risco a saúde da sociedade. Este artigo tem como finalidade analisar a distribuição espacial da emissão veicular de poluentes atmosféricos pela rede viária das Regiões Metropolitanas de São Paulo (RMSP) e de Campinas (RMC). As duas áreas de estudos foram determinadas por se configurarem como conglomerados urbanos e possuírem uma participação econômica importante para o estado de São Paulo. Após a distribuição das emissões no sistema viário a partir do uso de dois softwares, Qgis e Surrogate Tools, e dados da CETESB e do OpenStreetMaps, pretende-se realizar uma análise do mapeamento das porcentagens de emissão veicular, que pode ser utilizada em tomadas de decisão em questões ambientais e de saúde pública.

Palavras-chave: Distribuição Espacial; Emissão Veicular; Poluição Atmosférica.

Abstract: Metropolitan regions are characterized by intense population growth and, as a result, by an extensive vehicle fleet. Although this may represent indicators of economic development, the dependence on fossil fuels and the slow energy transition to the use of biofuels turn the population growth and the vehicle fleet into agents capable of intensifying environmental problems. This can be explained by the fact that usual vehicles, which have internal combustion engines, generate pollutants that are released into the atmosphere, making road transport responsible for at least 90% emissions of polluting gases and carbon dioxide (CO₂), a greenhouse gas. Therefore, these vehicles assume res-

¹ Graduanda em Gestão Ambiental , Escola de Artes Ciências e Humanidades, sarahvgimenes@usp.br

² Graduanda em Gestão Ambiental , Escola de Artes Ciências e Humanidades, lud.m.am@usp.br

³ Graduanda em Gestão Ambiental , Escola de Artes Ciências e Humanidades, vitoria.diniz@usp.br

⁴ Doutora em Engenharia de Transportes, Escola de Artes Ciências e Humanidades, dominiquem@usp.br

⁵ Doutora em Ciências Atmosféricas, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, flaviaribeiro@usp.br

ponsibility for a significant part not only of global warming, but also of atmospheric pollution, which not only impact the environment, but put public health at risk. This article aims to analyze the spatial distribution of vehicular emission of atmospheric pollutants by the road network of the Metropolitan Regions of São Paulo (RMSP) and Campinas (RMC). The study areas were determined by being configured as urban conglomerates and having an important economic participation for the state of São Paulo. After the distribution of emissions in the road system using two software, Qgis and Surrogate Tools, and data from CETESB and OpenStreetMaps, it is intended to carry out an analysis of the mapping of vehicle emission percentages, which can be used in decision on environmental and public health issues.

Keywords: Spatial distribution; Vehicle Emission; Atmospheric pollution.

1. Introdução

Segundo o IBGE, as Regiões Metropolitanas são formadas a partir da junção de municípios que compartilham limites em comum, sendo implementadas por meio de leis complementares estaduais. Nessas regiões metropolitanas o constante e intenso crescimento populacional são frequentes, bem como a necessidade de maior circulação e mobilidade dentro dos espaços municipais. Dessa forma, há um aumento não somente no desenvolvimento econômico das regiões, mas também das frotas veiculares nesses espaços e, consequentemente, na maior emissão de gases poluentes no meio ambiente, além de outros fatores prejudiciais ao ambiente como a poluição sonora, por exemplo.

De acordo com a CETESB (2019), 90% da população mundial é prejudicada com os elevados níveis de concentração dos poluentes na atmosfera, pois essas concentrações estão muito acima do que é recomendado pela OMS. Nas regiões metropolitanas, as emissões veiculares (automóveis, ônibus, caminhões e motos) são as principais fontes deste tipo de poluição, por conta dos motores à combustão interna que geram esses poluentes e os lançam na atmosfera. Segundo o 1º Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por Veículos Automotores Rodoviários (MMA, 2011), os transportes rodoviários se tornam responsáveis por pelo menos 90% das emissões de gases poluentes e do dióxido de carbono (CO₂).

A Resolução Nº 491 do CONAMA (2018) denomina poluente como:

Qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade. (CONAMA Nº 491, 2018).

Nas grandes cidades e regiões metropolitanas as emissões são compostas principalmente por gases como o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC) e hidrocarbonetos não metanos (NMHC), óxidos de enxofre (SO_x), material particulado (MP), compostos orgânicos voláteis (COVs), ozônio (O₃), entre outros.

Conforme os dados do IBGE e o Relatório de Emissões Veiculares da CETESB, o Estado de São Paulo detém cerca de 40% da frota automotiva do país, e em 2019 sua frota era composta aproximadamente por 15,4 milhões de veículos, sendo deste valor 10,4 milhões automóveis, 1,9 milhões comerciais leves, 560 mil ônibus e caminhões e 2,5 milhões de motocicletas.

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), são mais de 7 milhões de veículos, ou seja, quase a metade do total do Estado e na Região Metropolitana de Campinas (RMC) são aproximadamente 1 milhão de veículos. Ainda neste relatório de emissões de 2019, foi calculado que no estado 299 mil toneladas de CO foram emitidas, bem como 63 mil de NMHC, 165 mil de NO_x, 4,2 mil de MP,

2,2 mil de SO₂ e 1,9 mil de aldeídos. Dentre esses poluentes, os automóveis foram os maiores emissores de CO e de NMHC, já os caminhões foram os maiores emissores de MP, NOx e SO₂ distribuídos em vias expressas, articuladas e residenciais.

2. Objetivo

Este artigo tem como finalidade analisar a emissão veicular de poluentes atmosféricos e sua distribuição espacial pela rede viária das Regiões Metropolitanas de São Paulo (RMSP) e de Campinas.

3. Metodologia

O sistema viário das regiões foi obtido da plataforma Open Street Map (<https://www.openstreetmap.org>) e foi classificado em três tipos de vias: expressas (vias urbanas e rodovias), arteriais e residenciais/lokais. Considerou-se que os veículos apenas emitem poluentes nas vias em que circulam. As vias formam uma camada vetorial com elementos do tipo linha. Os tipos de veículos foram categorizados em leves (light duty), que compreendem veículos de passageiros, comerciais leves e motocicletas, e circulam nas três vias; pesados (heavy duty), que compreendem caminhões (não circulam nas vias lokais); ônibus do sistema de transporte público (não circulam em vias expressas) e ônibus rodoviários (incluem fretados e apenas circulam nas expressas). Para estimar as emissões de cada poluente em cada tipo de via ($E_{via,p}$) foi utilizada a equação proposta (Eq. 1):

$$E_{via,p} = \sum_y E_{py} \cdot (A_v \cdot A_T^{-1}) \quad (1)$$

Onde: E_{py} = Emissão em tonelada curta (*short ton* = 0,91 tonelada) do poluente p emitido pelo tipo de veículo y ; A_v = Área em m² da via estudada; A_T = Área total em m² das vias onde a categoria do veículo circula, sendo que a área das vias é o produto da largura e do comprimento de cada via. O comprimento de cada via foi obtido através do Qgis (<https://qgis.org>) com shapefiles do OpenStreetMap. A largura foi estimada como 5 m para residenciais, 18 m para arteriais e 32 m para expressas, baseadas em informações sobre zoneamento e planejamento urbano de diferentes municípios (<https://portaldosmunicípios.pr.gov.br/municipio/311/documento/1609>, acesso em 24/03/2022).

A emissão (E_{py}) foi obtida do inventário de emissões veiculares da CETESB para 2018 (CETESB, 2019) e os poluentes considerados são: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), material particulado inalável (MP), dióxido de enxofre (SO₂) e compostos orgânicos voláteis (COVs). Para distribuição espacial, foi usado o software Surrogate Tools (https://www.cmascenter.org/surrogate_tools_db/), o qual divide a área de estudo em células de grade e distribui as emissões com base no comprimento de cada tipo de via em cada célula. Para esse estudo, foram usadas células de 1x1 km. O resultado é a porcentagem da emissão total que será atribuída a cada célula. Dessa forma, as vias são usadas para determinar a distribuição espacial da emissão veicular.

4. Resultados

Nos quadros 1 e 2, pode-se observar respectivamente o cenário de emissão veicular estimada pela CETESB em 2018 e distribuída por tipo de veículos considerados no presente trabalho para a RMSP e a RMC. Nas duas regiões, é possível dizer que a categoria de veículos que mais emite poluentes é a de veículos leves (light duty), representando a contribuição do uso de transportes individuais frente a transportes públicos para a poluição atmosférica. Além disso, nota-se que o poluente mais emitido das duas regiões é CO e que veículos pesados (heavy duty) destacam-se pela quantidade de NOx emitido em comparação com as outras categorias de veículos.

Ao comparar a contribuição de emissão total para o estado de São Paulo, a RMSP contribui com 34,76% , percentual significativamente superior ao da RMC, que contribui com 8,28%. Isto se deve à frota veicular superior da primeira região (7 milhões de veículos) contra 1 milhão de veículos da RMC.

Quadro 1 – Emissão (em short ton) veicular estimada na RMSP (2018)

	Light duty	Heavy duty	Ônibus de linha	Ônibus rodoviário	Total	% referente ao estado
CO	120.077,94	4.074,14	2.152,81	401,24	126.706,13	36,51%
NOx	14.530,65	20.146,92	10.812,56	2.393,12	47.883,24	29,41%
MP	250,22	650,36	277,78	57,32	1.235,69	28,81%
SO ₂	321,87	735,24	13,23	65,04	1.135,38	23,67%
COV	27.629,40	870,82	417,78	102,51	29.020,52	39,40%
Total	162.810,08	26.477,49	13.674,16	3.019,23	205.980,95	34,76%

Fonte: quadro elaborado com base nos dados do Relatório de Emissão Veicular da CETESB 2018.

Quadro 2 - Emissão (em short ton) veicular estimada na RMC (2018)

	Light duty	Heavy duty	Ônibus de linha	Ônibus rodoviário	Total	% referente ao estado
CO	27.081,55	1.593,94	381,40	81,57	29.138,46	8,40%
NOx	2.951,99	7.635,70	1.894,87	504,86	12.987,42	7,98%
MP	49,60	212,75	47,40	9,92	319,67	7,45%
SO ₂	56,66	304,24	2,49	16,53	379,92	7,92%
COV	5.835,63	298,73	72,75	18,74	6.225,85	8,45%
Total	35.975,43	10.045,35	2.398,91	631,62	49.051,32	8,28%

Fonte: quadro elaborado com base nos dados do Relatório de Emissão Veicular da CETESB 2018.

O quadro 3 e 4 representam a emissão veicular nas vias determinadas de cada região do estudo. O poluente CO mostra-se novamente como prevalente, evidenciando-se como principal poluente proveniente da atividade veicular. Apesar das vias locais apresentarem uma intensa movimentação de veículos leves, a movimentação de veículos pesados é quase irrelevante, fazendo com que as vias arteriais possuam um valor superior de poluição em relação às locais para os poluentes emitidos principalmente pelo uso do óleo Diesel (NOx, MP e SO₂). Assim, pelo fato de circularem veículos leves, pesados e ônibus de linha, as vias arteriais se tornam as maiores contribuidoras para a poluição.

Quadro 3 - Emissão (em short ton) veicular nas vias da RMSP

	Locais	arteriais	expressas	total
CO	54.185,91	46.086,00	26.434,22	126.706,13
NOx	12.410,08	22.739,69	12.733,47	47.883,24
MP	264,51	624,79	346,39	1.235,69
SO ₂	149,38	586,19	399,80	1.135,38
COV	12.424,91	10.527,39	6.068,22	29.020,52
Total	79.434,78	80.564,07	45.982,10	205.980,95

Fonte: quadro elaborado com base nos dados do Relatório de Emissão Veicular da CETESB 2018.

Quadro 4 - Emissão (em short ton) veicular nas vias da RMC (2018)

	Locais	arteriais	expressas	total
CO	11.085,74	11.353,65	6.699,07	29.138,46
NOx	2.166,72	6.818,35	4.002,35	12.987,42
MP	44,45	175,11	100,11	319,67
SO ₂	24,07	213,53	142,33	379,92
COV	2.383,92	2.413,87	1.428,06	6.225,85
Total	15.704,90	20.974,51	12.371,91	49.051,32

Fonte: quadro elaborado com base nos dados do Relatório de Emissão Veicular da CETESB 2018.

As emissões analisadas nos quadros 1-4 foram distribuídas espacialmente através do software Surrogate Tools (Incluir referência), o qual dividiu a área de estudo em células de 1x1 km e distribuiu as emissões com base no comprimento de cada tipo de via em cada célula. O resultado pode ser visto nas figuras 1 e 2. Percebe-se as áreas centrais de cada região como as principais emissoras de poluição. As vias expressas, por serem a ligação entre diferentes cidades e regiões metropolitanas, têm uma característica mais radial, do centro para a periferia, com maior tráfego de caminhões e ônibus rodoviários. As vias locais se distribuem mais para a periferia e também aumentam a área central de emissão, preenchendo os espaços entre as vias arteriais.

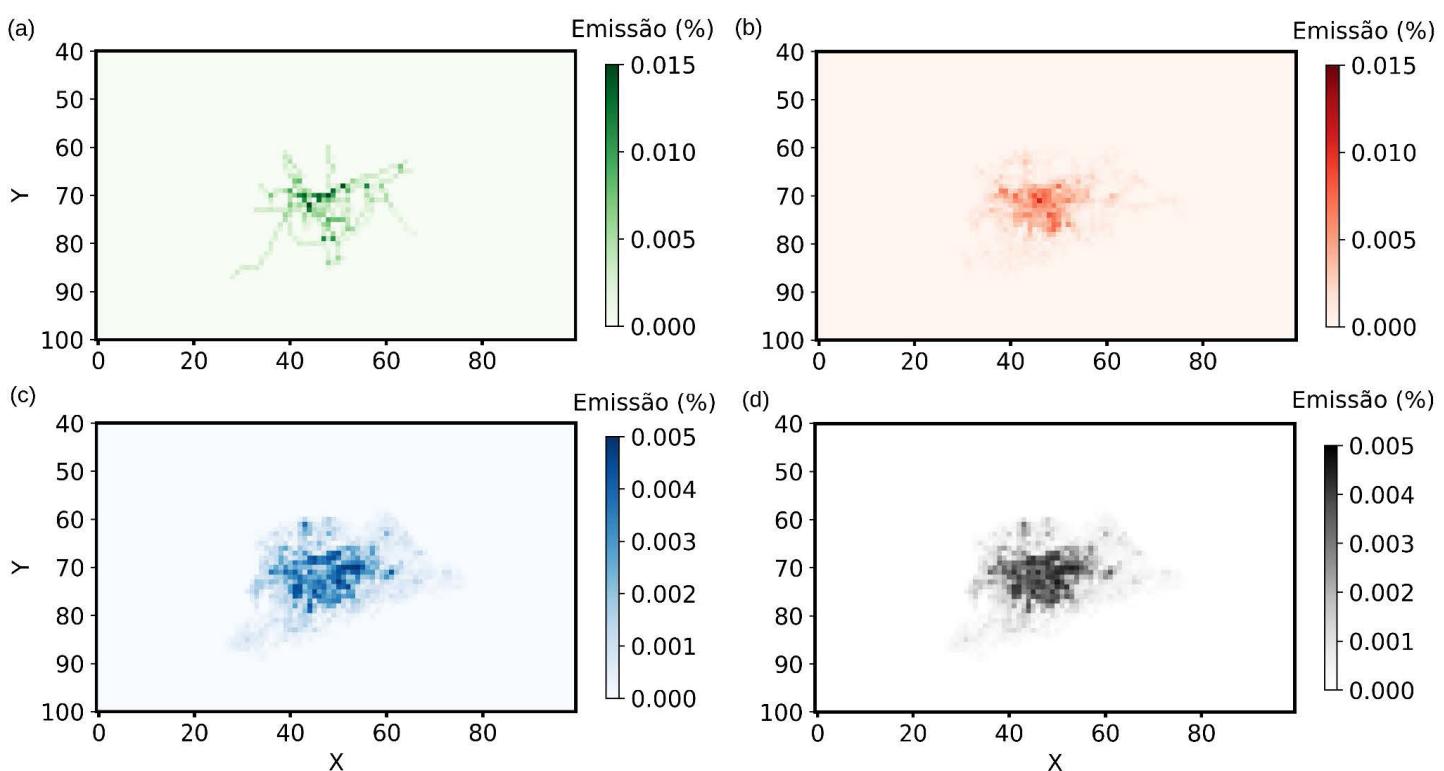


Figura 1 - Porcentagens de emissão veicular distribuída nas vias: (a) residenciais; (b) arteriais; (c) expressas e (d) considerando a emissão de todas as vias na RMSP

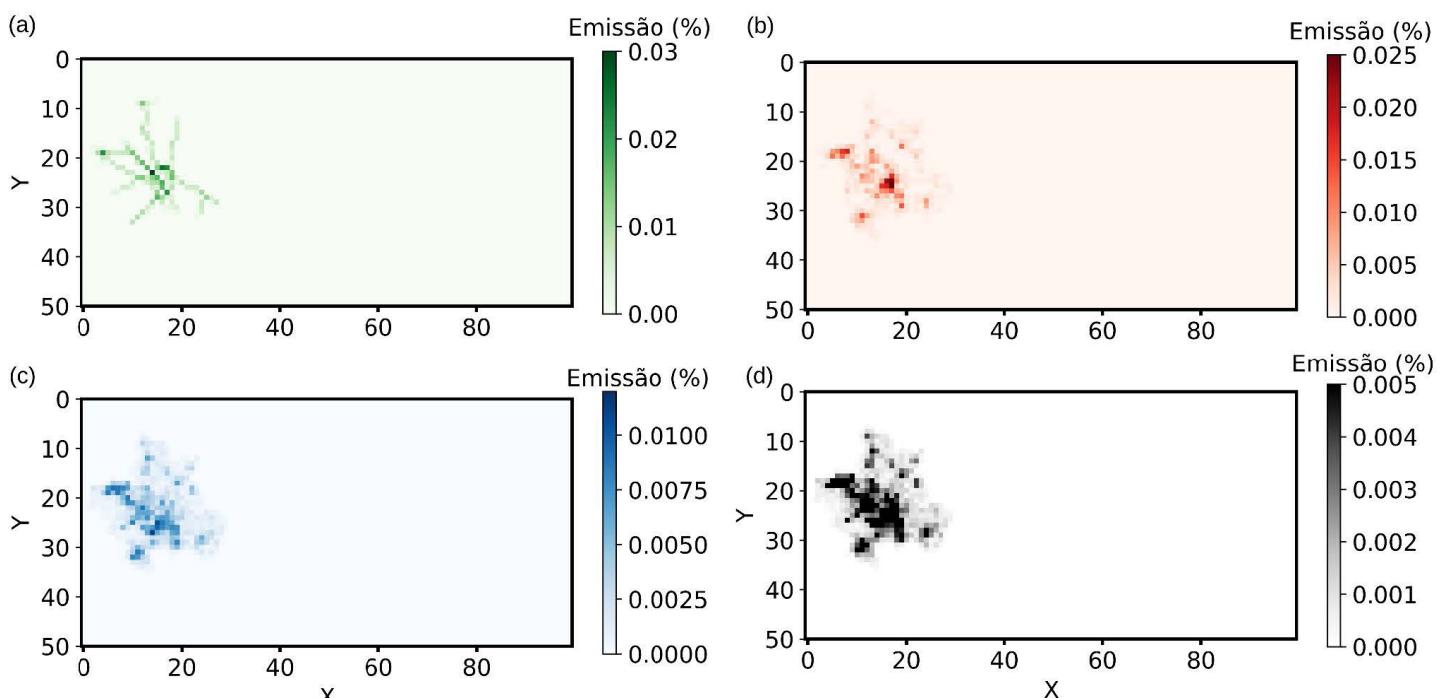


Figura 2 - Porcentagens de emissão veicular distribuída nas vias: (a) residenciais; (b) arteriais; (c) expressas e (d) considerando a emissão de todas as vias na RMC

5. Conclusão

Destarte, diante dos dados apresentados é possível apontar com se configura e caracteriza espacialmente a distribuição das emissões de poluentes por veículos, considerando os três tipos de vias possíveis de serem circuladas (arteriais, expressas e residenciais), tanto na RMSP quanto na RMC.

A RMSP com seu alto contingente veicular e populacional, destaca-se com o mais elevado percentual de emissão do estado de São Paulo. Além disso, a maior concentração de poluentes foi registrada nas vias arteriais, enquanto que os veículos leves (light duty) são os principais emissores de poluentes. Tal fato mostra a necessidade da criação e manutenção de políticas públicas que incentivem a utilização de transportes coletivos, bem como é necessário o contínuo investimento na estrutura, abrangência e alcance desses veículos.

Em relação à distribuição espacial da emissão veicular de poluentes, percebe-se os padrões de crescimento urbano, com os centros sendo as regiões de maior emissão e onde há uma malha viária mais densa. As vias locais são as responsáveis por distribuir a emissão pela área, levando as emissões para as periferias das regiões metropolitanas. Embora a concentração dos poluentes seja maior próximo à fonte de emissão, sabemos que as circulações atmosféricas podem transportar a poluição, espalhando-a nas regiões. Um estudo de modelagem da qualidade do ar é necessário para se determinar a distribuição espacial das concentrações dos poluentes e ele depende da prescrição das fontes de poluição. Dessa forma, o presente trabalho contribui também com informação que pode ser utilizada na modelagem da qualidade do ar.

6. Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL N°1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional

do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Bibliografia

Prefeitura de Campinas. **Região Metropolitana**. Disponível em: <https://www.campinas.sp.gov.br/governo/seplurb/dados-do-municipio/rmc/>

CETESB. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2018. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2020/02/Relat%C3%B3rio-Emiss%C3%A3o-Veiculares-no-Estado-de-Sao-Paulo-2018.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2020/02/Relat%C3%B3rio-Emiss%C3%A3o-Veiculares-no-Estado-de-S%C3%A3o-Paulo-2018.pdf)

CETESB. **Emissões Veiculares no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2020/11/Relatorio-Emissoes-Veiculares-no-Estado-de-Sao-Paulo-2019.pdf>.

CETESB. **Emissão Veicular**. 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/> .

CETESB. **Poluentes: Qualidade do Ar**. 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>.

CONAMA. **Resolução nº 491**, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895

IBGE. **Cidades: Frota de Veículos**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/22/28120?ano=2019>.

MMA-MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Primeiro Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas por veículos Automotores Rodoviários**: relatório final. 2011.

RMSP. Mapa. Disponível em: <https://pt.map-of-sao-paulo.com/regi%C3%A3o-mapas/rmsp-mapa#>

OPENSTREETMAP. London's Global University. Disponível em:

<<https://www.openstreetmap.org/#map=4/-15.13/-53.19>> Acesso em 03/08/2021

SURROGATE TOOLS. Versão DB V1.0. *Community Modeling and Analysis System*, The University of North Caroline, 2020. Disponível em: <https://www.cmasccenter.org/surrogate_tools_db/>. Acesso em 03/08/2021

QGIS: Sistema de informação Geográfica livre e aberto. Versão 3.16. 2020. Disponível em: <https://qgis.org/pt_BR/site/>. Acesso em 03/08/2021.

Codeveloping shale gas and CO₂ geological storage in the Paraná Basin: opportunities, challenges, policy and regulatory implications

*Codesenvolvimento de gás natural de folhelho e armazenamento geológico de CO₂
na Bacia do Paraná: oportunidades, desafios, implicações políticas e regulatórias*

Stephanie San Martín Cañas¹

Hirdan Katarina De Medeiros Costa²

Colombo Celso Gaeta Tassinari³

Summary: 1. Introduction. 2. Methodology. 3. Opportunities and challenges for co-development of shale gas and CO₂ geological storage in the Paraná Basin. 4. Policy and regulatory implications for CO₂ geological storage. 5. Final Remarks. Acknowledgements. References.

Abstract: The big climate target driving the global clean transition, known as ‘net-zero by 2050’, focuses on mitigating the carbon dioxide (CO₂) emissions without negatively impacting the global energy supply. In this context, the natural gas demand has increased because its combustion significantly results in lower CO₂ emissions when compared to oil and coal. However, such CO₂ output still requires to be abated to comply with the climate targets under the Paris Agreement. The carbon capture, utilization, and storage (CCUS) technologies are one of the most effective and proven options for CO₂ abatement because they can be easily retrofitted and integrated into the oil and gas facilities. Brazil is the second largest CO₂ emitter of Latin America, but it has been also recognized as ready for wide scale CCUS deployment by the Global CCS Institute. Also, although its energy mix is mostly renewable, the country still has a fossil fuel dependency of about 50% of its total primary energy consumption. Therefore, one of the options to reduce such fossil fuel dependency might be increasing the natural gas participation when associated with CCUS technologies. On this basis, Brazil faces the lack of internal natural gas offer near the biggest consumers, especially in the South-eastern Region. To address this issue and to deliver exploration opportunities, this research conducted a prospectivity assessment of the Iriti Formation to understand its feasibility as a reservoir for the co-development of shale gas, as a natural gas source, and CO₂ geological storage, as a CO₂ mitigation solution, in the Paraná Basin. The methodology was based on geological evaluations and data mining techniques to identify the most prospective areas. Additionally, it was conducted an analysis and identification of the main challenges regarding the environmental, policy and regulatory aspects. The findings verified the suitability of the Iriti Formation as a reservoir for the co-development of shale gas and CO₂ geological storage in the central region of the Paraná Basin with an average potential of CO₂ storage resource of 239.84 GtCO₂. Also, it found as main challenge the lack of clear policies and regulations that does not yet guarantee fair permitting, equitable royalty distribution, and protection of the Guarani Aquifer System.

Keywords: Shale Gas; CO₂ Geological Storage; Paraná Basin; Policies and Regulations.

Resumo: A grande meta climática que está conduzindo a transição energética global, conhecida como ‘net-zero by 2050’ foca na mitigação das emissões de dióxido de carbono (CO₂) sem afetar

¹ DSc fellow PRH-ANP 33.1, University of São Paulo, stephanie.sanmartin@usp.br.

² Visiting Professor PRH-ANP 33.1, DSc in Energy, University of São Paulo, hirdan@usp.br.

³ Full Professor, DSc in Geochemistry and Geotectonics, University of São Paulo, ccgtassi@usp.br.

negativamente o fornecimento de energia no mundo todo. Nesse contexto, existe crescente demanda por gás natural em razão de sua combustão resultar em baixas emissões de CO₂ quando comparada às do óleo e carvão. No entanto, essas contribuições de CO₂ ainda precisam ser controladas para fins de cumprimento das metas do Acordo de Paris. As tecnologias de captura, utilização e armazenamento geológico de carbono (CCUS) são entre as opções atualmente existentes, as mais efetivas e já comprovadas para o abatimento de CO₂ porque podem ser facilmente adaptadas e integradas nas instalações de óleo e gás. Brasil é o segundo maior emissor de CO₂ da América Latina, e tem sido apontado como preparado para a implantação de CCUS em grande escala pelo Global CCS Institute. Além disso, embora que a sua matriz energética é predominantemente renovável, o país ainda tem uma dependência por combustíveis fósseis de cerca de 50% do total do consumo de energia primária. Portanto, uma das opções para reduzir suas emissões seria incrementar a participação do gás natural sempre que associado com tecnologias de CCUS. No entanto, o Brasil enfrenta a falta de oferta interna de gás natural na proximidade dos maiores polos consumidores, especialmente na Região Sudeste. Para abordar esse assunto e entregar oportunidades exploratórias, essa pesquisa realizou uma avaliação da prospectividade da Formação Iratí com o objetivo de entender a sua viabilidade como reservatório para o desenvolvimento de gás de folhelho, como fonte de gás natural, e armazenamento geológico de CO₂, como solução mitigadora para as emissões de CO₂, na Bacia do Paraná. A metodologia foi baseada em avaliações geológicas e técnicas de mineração de dados para a identificação das áreas mais prospectivas. Adicionalmente, foi realizada uma análise e identificação dos principais desafios referentes aos aspectos ambientais, políticos e regulatórios. Os resultados verificaram a viabilidade da Formação Iratí como reservatório para o desenvolvimento de gás de folhelho e armazenamento geológico de CO₂ na região central da Bacia do Paraná com um potencial médio de capacidade estocagem de CO₂ de 239.84 GtCO₂. Além disso, foi encontrado que os principais desafios são a falta de políticas e regulações claras, com destaque para a ausência de regras específicas de licenciamento, distribuição equitativa dos royalties, e proteção do Sistema Aquífero Guarani.

Palavras-chave: Gás natural de folhelho; armazenamento geológico de CO₂; Bacia do Paraná; políticas e regulações.

1. Introduction

To meet the Paris Agreement, many governments and private sector companies are adopting the ‘net-zero by 2050’⁴, a target that is shaping our future sustainable society. Net-zero by 2050 brought together the acceleration of the decarbonisation and electrification of the energy sector that depends on the availability of inexpensive electricity, balance between demand and electricity generation, electrified substitutes for most fuel-using devices, and carbon capture, utilisation and storage (CCUS) technologies (DAVIS et al., 2018). In the case of CCUS, studies have shown that these technologies can significantly reduce CO₂ emissions from hard-to-decarbonise sectors, being easily retrofitted to existing oil and gas facilities or integrated into the design process of planned facilities (GCCSI, 2016). Under the Sustainable Development Scenario, CCUS accounts for over 9% of the total CO₂ emissions reductions and is the lowest cost path to comply with the Paris Agreement (GCCSI, 2019; IEA, 2019).

In this context, considering the lower CO₂ emission contributions of the natural gas, when compared with other fossil fuels, and its backup role for renewable energy intermittency, it is expected that the net-zero by 2050 would be a more achievable goal by codeveloping CCUS and natural gas projects.

⁴ The concept of ‘net-zero by 2050’ refers to the net-zero CO₂ emissions that would be achieved through a global balance between the anthropogenic CO₂ emissions and the anthropogenic CO₂ removals, such balance must be achieved until the year of 2050 (IPCC, 2018).

This offers an opportunity for Brazil, the second largest CO₂ emitter⁵ of Latin America because its fossil fuel dependency still accounts for 50%⁶ of the total internal energy supply. Further, Brazil was already catalogued as one of the countries with biggest *inherit CCS interest* and CCS *storage readiness* (together with Norway, Canada, and the United States), and it was also considered ready for the wide-scale deployment of CCS projects (GCCSI, 2015). Nevertheless, Brazil still faces the lack of internal natural gas offer near the biggest consumers, especially in its most carbon-intensive region, the Southeaster Region.

Developing CCUS projects in the Paraná Basin may benefit the decentralisation of oil and gas supply thus stimulating the expansion of the onshore pipeline network (GAGLIANO, 2018). Such expansion may also help with the CO₂ transportation of until the geological storage sites from stationary sources that are not related to the oil and gas operations (e.g., sugarcane mills). Furthermore, the Revitalisation of Onshore Oil and Natural Gas Exploration and Production Activities – REATE 2020 program is making efforts to reactivate the Brazilian onshore by promoting studies on the feasibility of large-scale hydrocarbon production from conventional and/or unconventional reservoirs, as well as geological mapping and volumetric hydrocarbon estimations (MME, 2019). Such efforts may stimulate the inclusion of CO₂ geological storage projects for the decarbonisation of future onshore hydrocarbon production.

Therefore, the purpose of this study is to present a prospectivity assessment through geological evaluations and data mining techniques to identify the most prospective areas of the Irati Formation in the Paraná Basin to understand its feasibility as a reservoir for the co-development of shale gas and CO₂ geological storage, as natural gas source and CO₂ mitigation solution respectively. In addition, it was conducted an analysis and identification of the main challenges regarding the environmental, policy and regulatory implications for these activities in the Paraná Basin.

2. Methodology

To identify the most prospective areas for the co-development of shale gas and CO₂ geological storage within the Irati Formation in the Paraná Basin, previous geological evaluations of the suitability of the black shales of the Irati Formation were revised (ROCHA, 2016; MABECUA et al., 2019; SAN MARTÍN CAÑAS, 2020; TASSINARI et al., 2021). These studies were based on source rock potential analyses and data mining techniques.

To provide a map of favourable areas, a collection of maps and shapefiles from San Martín Cañas (2020) were engaged. The maps include the prospect predictions for shale gas and CO₂ geological storage constructed by the author using machine learning algorithms and inverse distance weighting interpolations. Maps of gas leads⁷ were also included. The shapefiles correspond to the GASBOL pipeline, minimum CO₂ injection depth, minimum depth for hydraulic fracturing, and total shale gas bearing zone. Moreover, under the premise that a future CCUS transportation network would be integrated with the GASBOL pipeline and considering the economic aspects for the feasibility of a storage project, two areas of infrastructure influence were mapped using the buffering tool of QGIS 3.22 software. The distances of a 100 and 200 km were set according to studies of NETL (2019) on CO₂ transportation and storage costs. Also, looking to include an environmental constrain on the final favourable area selection, 10-km-influence areas from the main geological structures were mapped.

After integrating all the maps and shapefiles previously mentioned, prospectivity polygons were obtained. The resulting polygons were ranked by colour according to their prospectivity level (i.e., very high, high, and medium), such ranking considers that all these polygons are inside the typical shale gas

⁵ According with data and estimates from 2017 (RITCHIE & ROSER, 2020).

⁶ According with the fossil energy sources share of the total internal primary energy supply in 2020 (EPE, 2021).

⁷ The maps of gas leads were extracted from information of the ANP bidding rounds 12, 14 and 15 (ANP, 2013, 2019 apud SAN MARTÍN CAÑAS, 2020, p. 7–8).

bearing zone and, therefore, exhibit good prospectivity levels. The emerald-green polygons have a very high prospectivity and refer to areas predicted by at least two of the three algorithms, contain gas leads, and intersect with the 100-km-radius infrastructure influence (areas that were predicted by all the algorithms are also included in this category). The olive-green polygons have a high prospectivity and refer to areas predicted by at least 2 algorithms, contain gas leads, and intersect with the 200-km-radius infrastructure influence. The lime-green polygons have a medium prospectivity and refer to areas predicted by at least two algorithms but that do not contain gas leads or fit into the zones of infrastructure influence.

Further, to provide regional estimations of CO₂ storage resource for the prospective areas, three scenarios⁸ were calculated for each state by extrapolating the local CO₂ storage capacity proposed by Abraham-A and Tassinari (2021). Finally, a discussion regarding the policy and regulatory implications is provided looking to foresee the proper adaptations that are needed to ensure that future activities could be successful while complying with the environmental, social, political, and regulatory requirements.

3. Opportunities and challenges for the co-development of shale gas and CO₂ geological storage in the Paraná Basin

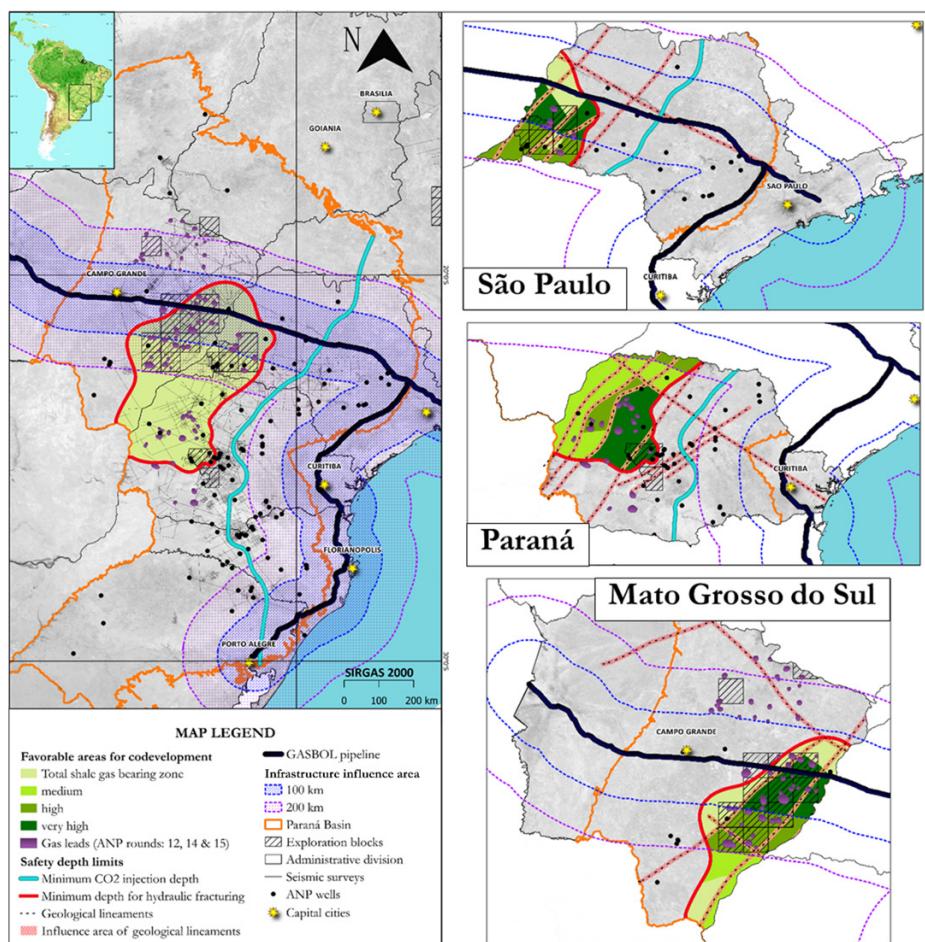
The revised authors have validated the suitability of the Irati Formation for the co-development of shale gas and CO₂ geological storage in the central region of the Paraná Basin. In the case of shale gas prospectivity, Rocha (2016) and Mabecua et al. (2019) described the excellent potential of the Irati Formation for shale gas based on favourable geological conditions and organic geochemical indicators commonly used to measure hydrocarbon generation potential. Furthermore, Rocha (2016) and Tassinari et al. (2021) established through comparative analyses that the Irati Formation exhibits similar characteristics with the Barnett, Marcellus, and Eagle Ford Formations that are excellent shale gas producers in the United States.

In the case of CO₂ geological storage, San Martín Cañas (2020) and Abraham-A and Tassinari (2021) demonstrated that the Irati Formation comply with the technical parameters for safe CO₂ geological storage operations. Also, the authors confirmed that there is a close relationship between the shale gas and the CO₂ geological storage potential resulting in excellent opportunities for the co-development of both activities in the Paraná Basin.

Considering the previous verification of the suitability of the Irati Formation, the opportunities for co-development of shale gas and CO₂ geological storage in the Paraná Basin are presented as a map of favourable areas, illustrated in Figure 1. The most prospective areas are located in the southwestern region of São Paulo, central region of Paraná, and east region of Mato Grosso do Sul. Such areas were also appointed prospective by the revised authors. Further, this map of prospect opportunities is aligned with previous findings from Tassinari et al. (2021) indicating that the Irati Formation not only comply with the geological conditions but that the economic viability of shale gas production from this unit in the state of São Paulo would be favoured by the optimal infrastructure conditions such as good roads, major highways, railways, and the GASBOL pipeline which may guarantee a proper natural gas flow. Such economic viability may enable project opportunities that would result in revenues and future royalties derived from the consolidation of an onshore natural gas market together with the development of a carbon market.

⁸ Scenarios: low, medium, and high. The scenarios were considered based on the probability approach P90, P50, and P10 respectively.

Figure 1 – Map of opportunities for the co-development of shale gas and CO₂ geological storage in reservoirs of the Irati Formation, Paraná Basin. Source: Produced by the authors.



Source: Produced by the authors.

Regarding the CO₂ storage resource opportunities, this study proposes three scenarios of regional estimations. In average, the Irati Formation exhibits a potential of 239.84 GtCO₂ of storage resource in the Paraná Basin, such potential is presented in Table 1 as medium estimation scenario. The state with the highest resource potential is Mato Grosso do Sul with an average of 96.61 GtCO₂, followed by Paraná and São Paulo, with 90.99 and 52.24 GtCO₂ respectively.

Table 1 – Scenarios for regional estimations of CO₂ storage resource of the Irati Formation in the Paraná Basin.

State	Estimations of regional CO ₂ storage resource [GtCO ₂]		
	Low	Medium	High
São Paulo	10.45	52.24	94.02
Paraná	18.20	90.99	163.77
Mato Grosso do Sul	19.32	96.61	173.89
Total potential (Irati Formation)	47.97	239.84	431.68

Source: Produced by the authors.

In the context of the REATE 2020 efforts and considering the exploration opportunities presented in our study, the South-eastern Region still faces the three main barriers for the implementation of industrial CCS projects proposed by Napp et al. (2014), such as: the economics of deployment; the absence of long-term policies and frameworks; and the lack of nearby storage sites and connectivity to transport and storage infrastructure.

Although the last barrier was addressed in the present study by appointing the most prospective areas, the Irati Formation was not considered as an unconventional exploratory target during the drilling campaigns inside the Paraná Basin, which resulted in few data from core samples and geo-

chemical analyses at reservoir conditions. Therefore, new detailed studies are required to obtain more accurate estimations of gas-in-place and CO₂ storage capacity under a contingent storage resource evaluation. Thus, investments must focus on acquiring seismic surveys, as well as new exploratory wells, core samples and borehole logging, at least, inside the areas with very high prospectivity delineated in Figure 1. Meanwhile, the most challenging task remains to be deriving valuable information from the available logging, 2D seismic surveys and geochemical analyses from surface samples.

Additionally, in a co-development scenario, technologies associated to the CO₂ geological storage operations continue to be the most expensive part of the value chain. Hence, the implementation of fair conditions and incentives from the governmental institutions are mandatory to design appropriate strategies that accelerate the creation of successful Brazilian markets for both natural gas and carbon dioxide. Further, governmental entities, private initiative and international organizations must cooperate in favour of a safe legal environment for CCUS activities in Brazil (NUNES & COSTA, 2019), which will result on better allocation of capital investments, effective economical assessments, and pertinent best practices for the protection of the environment, water resources and biodiversity.

4. Policy and Regulatory Implications for CO₂ geological storage

As mentioned in the previous section, the creation of appropriate strategies is key for the success of CCUS operations in the South-eastern Region of Brazil. According to Nunes and Costa (2019), such strategies may come from clear proposals and feasible goals for an implementation that follows the Paris Agreement, establishing CO₂ capture and storage targets, stimulating public and private investments, formal legal agreements, together with the clear policies and regulations for commissioning and decommissioning activities as well as specific best practice guidelines for all the operation phases. Such conditions pose a major challenge considering that a CCUS policy and regulatory framework is still under development and has not been yet implemented in Brazil.

In the specific case of CO₂ geological storage, environmental safety requires a well-designed and comprehensive policy and regulatory frameworks that can address the geological risks and long-term liabilities considering that risk allocation and liability uncertainties of CCUS projects are the main regulatory barriers for large-scale deployment in Brazil (ROCHA & COSTA, 2021). Moreover, the map of opportunities (Figure 1) reveals that the future legal frameworks must address the transboundary aspects of CCUS projects in the Paraná Basin to avoid pitfalls.

Rocha and Costa (2021) maintain that the heterogeneities on national and subnational (state-level) jurisdictions are barriers for the transboundary aspects (i.e., interstate tax regulation, gas pipelines, CO₂ plume and migration) that might go across several Brazilian states and municipalities. In the case of the prospect areas of Figure 1, such heterogeneities can affect future co-development operations across São Paulo, Mato Grosso do Sul, and Paraná. Therefore, according to Costa et al. (2018), it is urgent the creation of a competent national authority on CCUS in Brazil or, at least, the attribution of CCUS regulatory capacities to the most suitable national entity that should monitor the requirements and risk assessments, and that also establishes provisions on regulatory agents, licensing, and Environmental Impact Assessment (EIA) procedures.

5. Final Remarks

The findings verified the suitability of the Irati Formation as a reservoir for the co-development of shale gas and CO₂ geological storage in the central region of the Paraná Basin, with the most prospective areas in the states of São Paulo, Paraná, and Mato Grosso do Sul. In the prospect areas, the Irati Formation exhibit an average potential of CO₂ storage resource of 239.84 GtCO₂ (min. 431.68; max.

47.97). Also, although this study adopted an environmental constrain regarding the minimum safe distance between a hydraulic fracturing stimulations and bottom depth of an aquifer to identify co-development opportunities, a proper Brazilian CCUS policy and regulatory framework does not yet exist and, therefore, it is not possible yet to guarantee fair permitting, equitable royal distribution, and protection of the Guarani Aquifer System. Nevertheless, considering the attractive potential numbers for CO₂ geological storage just for the Irati Formation, efforts should be made to develop public perception plans directed to the communities inside the most prospective areas. Such measure was further detailed by Nunes and Costa (2019), who propose the creation of programs for the recognition and dissemination of CO₂ capture and storage practices that should be encouraged by governmental entities as a way of disseminating technology to the general population and gaining the confidence and support of public opinion, which in a long-term scenario will benefit private investments from national and international sources in the South-eastern Region that should help Brazil to achieve its climate targets under the Paris Agreement.

Acknowledgements

The authors are grateful for the support of the National Agency for Petroleum, Natural Gas and Biofuels Human Resources Program (PRH-ANP), funded by resources from the investment of oil companies qualified in the R,D&I clauses from ANP Resolution No. 50/2015 (PRH 33.1—Related to Call No. 1/2018/PRH-ANP; Grant FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). We also thank the RCGI – Research Centre for Gas Innovation, hosted by the University of São Paulo (USP) and sponsored by FAPESP – São Paulo Research Foundation (2014/50279-4 and 2020/15230-5) and Shell Brazil, and the strategic importance of the support given by ANP (Brazil's National Oil, Natural Gas and Biofuels Agency) through the R&D levy regulation.

References

- ABRAHAM-A, Richardson-M; TASSINARI, Colombo Celso Gaeta. CO₂ storage algorithms involving the hybrid geological reservoir of the Irati Formation, Parana Basin. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 112: 103504, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2021.103504>
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). Brasil 12^a Rodada, Licitações de Petróleo e Gás, Bacia do Paraná. *Presentation by Rodrigo Fernandez*, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). A Geologia do Petróleo do Brasil e as Rodadas de Licitações da ANP. *Presentation by Carlos Mikael Arnemann Batista*, 2019.
- COSTA, Hirdan Katarina de Medeiros; MIRANDA, Mariana Fernandes; MUSARRA, Raíssa Moreira Lima Mendes; MOUTINHO DOS SANTOS, Edmilson. Environmental Licence for Carbon Capture and Storage (CCS) Projects in Brazil. *Journal of Public Administration and Governance*, vol. 8, nº. 3, pp. 163-184, 2018. <https://doi.org/10.5296/jpag.v8i3.13430>
- DAVIS, Steven J.; LEWIS, Nathan S.; SHANER, Matthew; AGGARWAL, Sonia; ARENT, Doug; AZEVEDO, Inês L.; BENSON, Sally M.; BRADLEY, Thomas; BROUWER, Jack; CHIANG, Yet-Ming; CLACK, Christopher T. M.; COHEN, Armond; DOIG, Stephen; EDMONDS, Jae; FENNELL, Paul; FIELD, Christopher B.; HANNEGAN, Bryan; HODGE, Bri-Mathias; HOFFERT, Martin I.; INGERSOLL, Eric; JARAMILLO, Paulina; LACKNER, Klaus S.; MACH, Katharine. J.; MASTRANDREA, Michael; OGDEN, Joan; PETERSON, Per F.; SANCHEZ, Daniel L.; SPERLING, Daniel; STAGNER, Joseph; TRANCIK, Jessika E.; YANG, Chi-Jen; CALDEIRA, Ken. Net-zero emissions energy systems. *Science*, 360: 6396, eaas9793, 2018. <https://doi.org/10.1126/science.aas9793>
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Balanço Energético Nacional 2021, Relatório Síntese / Ano base 2020. Rio de Janeiro, 2021.

- GAGLIANO, Matheus. Onshore areas on hold. *Brasil Energy*, year 39, nº 468, pp. 44–45, 2018.
- GLOBAL CCS INSTITUTE (GCCSI). Global Status of CCS 2019, Targeting Climate Change. 2019.
- GLOBAL CCS INSTITUTE (GCCSI). Global Storage Readiness Assessment: an approach to assessing national readiness for wide-scale deployment of CO₂ geological storage projects. 2015.
- GLOBAL CCS INSTITUTE (GCCSI). The Global Status of CCS: 2016. *Summary Report*. Australia, 2016.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). World Energy Outlook 2019.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). 6 Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. V. MASSON-DELMOTTE, P. ZHAI, H.-O. PÖRTNER, D. ROBERTS, J. SKEA, P.R. SHUKLA, A. PIRANI, W. MOUFOUMA-OKIA, C. PÉAN, R. PIDCOCK, S. CONNORS, J.B.R. MATTHEWS, Y. CHEN, X. ZHOU, M.I. GOMIS, E. LONNOY, T. MAYCOCK, M. TIGNOR, AND T. WATERFIELD (eds.). In Press. 2018.
- MABECUA, Fastudo Jorge; TASSINARI, Colombo Celso Gaeta; PEREIRA, Egberto. Avaliação do potencial de geração de gás e óleo não convencional dos folhelhos negros da Formação Iratí na região de Goiás e Mato Grosso, Centro-Oeste do Brasil. *Revista Brasileira de Energia*, v. 225, pp. 21-53, 2019. <https://doi.org/10.47168/rbe.v25i2.423>
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). REATE 2020 – Plano Integrado de Ação do Programa de Revitalização das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Áreas Terrestres. *Relatório*, 2019.
- NAPP, Tamaryn; SUM, Kun Shan; HILLS, Thomas; FENNELL, Paul S. Attitudes and Barriers to Deployment of CCS from Industrial Sources in the UK. *Report GR6, Grantham Institute for Climate Change*, pp. 1 – 58. London: Imperial College, 2014.
- NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY (NETL). Quality guidelines for energy system studies: Carbon Dioxide Transport and Storage Costs in NETL Studies. *Report DOE/NETL-2019/2044*, U.S. Department of Energy, 2019.
- NUNES, Romario de Carvalho; COSTA, Hirdan Katarina de Medeiros. Operação e fechamento de instalações de armazenamento para atividades de CCS no Brasil. In: COSTA, Hirdan Katarina de Medeiros (org.). *Aspectos Jurídicos da Captura e Armazenamento de Carbono*. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2019.
- RITCHIE, Hannah; ROSER, Max. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. *OurWorldInData.org*, 2020. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- ROCHA, Haline. Estudo geológico do potencial de exploração e produção de gás natural não convencional na bacia do Paraná: avaliação da viabilidade no abastecimento a usina termoelétrica de Uruguaiana (RS). *Master's Thesis (Master's in Science) – Graduate Program in Energy, University of São Paulo*, São Paulo, pp. 144, 2016.
- ROCHA, Haline; COSTA, Hirdan Katarina de Medeiros. Chapter 14 – Legal and regulatory barriers to CO₂ geological storage in Brazil: Lessons from the European Union. In: COSTA, Hirdan Katarina de Medeiros; ARLOTA, Carolina (Eds.). *Carbon Capture and Storage in International Energy Policy and Law*. Elsevier, pp. 263–283, 2021. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85250-0.00008-6>
- SAN MARTÍN CAÑAS, Stephanie. Data Mining for prospectivity evaluation: The Iratí Formation as a reservoir for the co-development of shale gas and CO₂ geological storage in the Paraná Basin – Case study of the state of São Paulo. *Master's Thesis (Master's in Science) – Graduate Program in Energy, University of São Paulo*, São Paulo, pp. 147, 2020.
- TASSINARI, Colombo Celso Gaeta; SAN MARTÍN CAÑAS, Stephanie; RICCOMINI, Claudio; TAIOLI, Fábio. Capítulo 3. Potencial de exploração de não-convencionais – 3.4 São Paulo. In: Cadernos FGV ENERGIA – O desenvolvimento da exploração de recursos não-convencionais no Brasil: novas óticas de desenvolvimento regional Cadernos, year 8, nº 12, pp. 78–86. Rio de Janeiro: FGV Energia & Ministério de Minas e Energia do Brasil (MME), 2021.

Aspectos logísticos de projetos para a produção de hidrogênio, associados à captura e armazenamento de carbono (H₂ azul), e seu potencial para o offshore no Brasil

Logistical aspects of projects for hydrogen production, associated with carbon capture and storage (Blue H₂), and its potential for Brazil's offshore

Thalles Moreira De Oliveira¹

Thiago Luis Felipe Brito²

Edmilson Moutinho Dos Santos³

Dominique Mouette⁴

Sumário: 1. Introdução. 2. Estudo de casos de hidrogênio azul com CCS offshore. 2.1. HyDE-MO. 2.2 H2morrow Steel. 2.3. Northern Lights e o conceito de *hub* de CCS. 3. Projeto para CCS offshore no Brasil 4. Considerações finais. Referências.

Resumo: O presente artigo tem como objetivo revisar projetos mundiais de produção de H₂, vinculados ao CCS, e analisar seu potencial para o *offshore* brasileiro. A partir de informações obtidas nos sites oficiais dos empreendimentos de produção de H₂ divulgados, em 2020, pela Agência Internacional de Energia (IEA) e de projetos parceiros de captura e armazenamento de CO₂, levantou-se informações técnicas secundárias sobre as instalações e sua operação como: locais de extração da matéria-prima (*onshore* ou *offshore*), distâncias necessárias ao transporte de CO₂ e os tipos de reservatórios nos quais este é armazenado. Os principais projetos de produção de H₂ com CCS *offshore* estão, atualmente, se desenvolvendo na Noruega e Alemanha, e o armazenamento do CO₂ oriundo de suas atividades será realizado em aquífero salino na subsuperfície do fundo do Mar do Norte norueguês. Dado que grande parte da exploração de gás natural no Brasil ocorre em ambiente *offshore*, e o estudo intitulado *Project 34*, do RCGI, demonstra o potencial do pré-sal em comportar o armazenamento de CO₂ em sua camada de halita, é de suma importância acompanhar e analisar o andamento dos projetos europeus de produção de hidrogênio azul, além de buscar formas de aproveitar estas experiências internacionais no cenário brasileiro de energia. O lucro da produção de H₂ se daria por sua comercialização como combustível, enquanto que a descarbonização do processo ocorreria na captura do CO₂ e seu armazenamento geológico permanente. Maiores estudos, contudo, se mostram necessários para que haja a implantação eficiente do H₂ como combustível alternativo no Brasil nos próximos anos.

Palavras-chave: Hidrogênio Azul; Captura e Armazenamento de Carbono; Reforma a Vapor do Metano (SMR); Logística do CO₂.

Abstract: This article aims to analyze the logistics used in global blue hydrogen production projects (steam reform with carbon capture and storage) and its possible applicability in the Brazilian scenario. In this sense, having as source the project's official websites and other references, we sought to collect technical data on the operation of the facilities: locations of extraction of the raw material (*onshore* or *offshore*), the distances used in the transport of CO₂ and the types of reservoirs in which the CO₂ is

1 Graduando em Gestão Ambiental, Universidade de São Paulo, thalles.moreira@usp.br.

2 Doutor em Energia, Universidade de São Paulo, thiagobrito@usp.br.

3 Doutor em Economia, Universidade de São Paulo, edsantos@iee.usp.br.

4 Doutora em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, dominiquem@usp.br.

stored. Most of the extraction of natural gas, the main raw material for hydrogen production, takes place in an offshore environment in Brazil, which gives the projects greater consonance with the perspectives of the national energy sector. It was concluded that some European projects are advanced in the implementation of blue H₂, and the Brazilian offshore has potential for its production and the storage of CO₂ in the pre-salt. Profit could be obtained from the commercialization of H₂ as a fuel. At the same time, the process of decarbonization would take place through the capture of carbon and its storage in reservoirs on the subsurface of the seabed or in the deeper layers of continental sedimentary basins.

Keywords: Blue Hydrogen; Carbon Capture and Storage; Steam Methane Reform (SMR), CO₂ Logistics.

1. Introdução

Quando o Relatório Brundtland (1987) foi publicado, conceituando Desenvolvimento Sustentável como o “atendimento das necessidades humanas atuais sem o comprometimento do suprimento das necessidades das futuras gerações”, os olhares da ciência se voltaram progressivamente para as questões ambientais associadas aos meios de produção, distribuição e consumo de energia. Apesar do rápido desenvolvimento das tecnologias de produção de energia verde (ex. eólica, solar), uma transição energética mundial que resulte em 100% de utilização de fontes renováveis pode não contemplar as altas demandas por energia, a curto prazo, existentes no modelo econômico atual.

Dentre as medidas voltadas à substituição das matrizes energéticas fósseis, a utilização de hidrogênio (H₂) se mostra interessante, uma vez que este libera apenas água e energia quando passa pelo processo de combustão (Almeida, 2019). Por outro lado, o H₂ não é um combustível primário, sendo usualmente extraído da molécula de metano (CH₄) por meio da Reforma a Vapor do Gás Natural (SMR), processo que resulta na produção de dióxido de carbono (CO₂). Porém, uma vez que a emissão deste gás está concentrada em um único local de produção, sua captura e armazenamento são favorecidos, impedindo, assim, o descarte na atmosfera. O hidrogênio produzido pela reforma a vapor de combustíveis fósseis, como o gás natural, associada à Captura e Armazenamento de Carbono (CCS) é chamado de Hidrogênio Azul.

Segundo a Agência Nacional para Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2021), o pré-sal respondeu por mais de 71% da produção brasileira de petróleo e gás natural, em fevereiro de 2021. Neste sentido, a pesquisa do presente artigo efetuou-se pelo levantamento e a seleção de casos internacionais que realizam tanto a extração do gás natural quanto o armazenamento do CO₂ em ambientes *offshore* (a partir da costa marítima), dado que estes espaços são amplamente utilizados pelos maiores empreendimentos de CCS no mundo. Analisar a logística empregada, pelos projetos pesquisados, no transporte do CO₂ e em seu armazenamento, possibilita maiores esclarecimentos sobre o potencial brasileiro de produção de H₂ com CCS.

2. Estudo de casos de hidrogênio azul com CCS offshore

A *International Energy Agency* divulgou uma tabela com os principais projetos mundiais de produção de hidrogênio associados à captura e armazenamento de CO₂ (IEA, 2020). Alguns fatores como o local de produção do H₂ e a distância entre este e o ponto de armazenamento do carbono são determinantes na escolha do reservatório para estocagem do CO₂. Um dos projetos, o canadense Quest, armazena o CO₂ na Bacia Sedimentar Canadense Ocidental (SHELL, 2021), ou seja, em um reservatório *onshore* (em terra). Por outro lado, a maioria dos projetos se utiliza do ambiente marítimo (*offshore*) para estocar o dióxido de carbono oriundo de diferentes atividades industriais, sobretudo da

produção de H₂, sendo os aquíferos salinos encontrados na subsuperfície do fundo do mar os reservatórios utilizados para tal atividade.

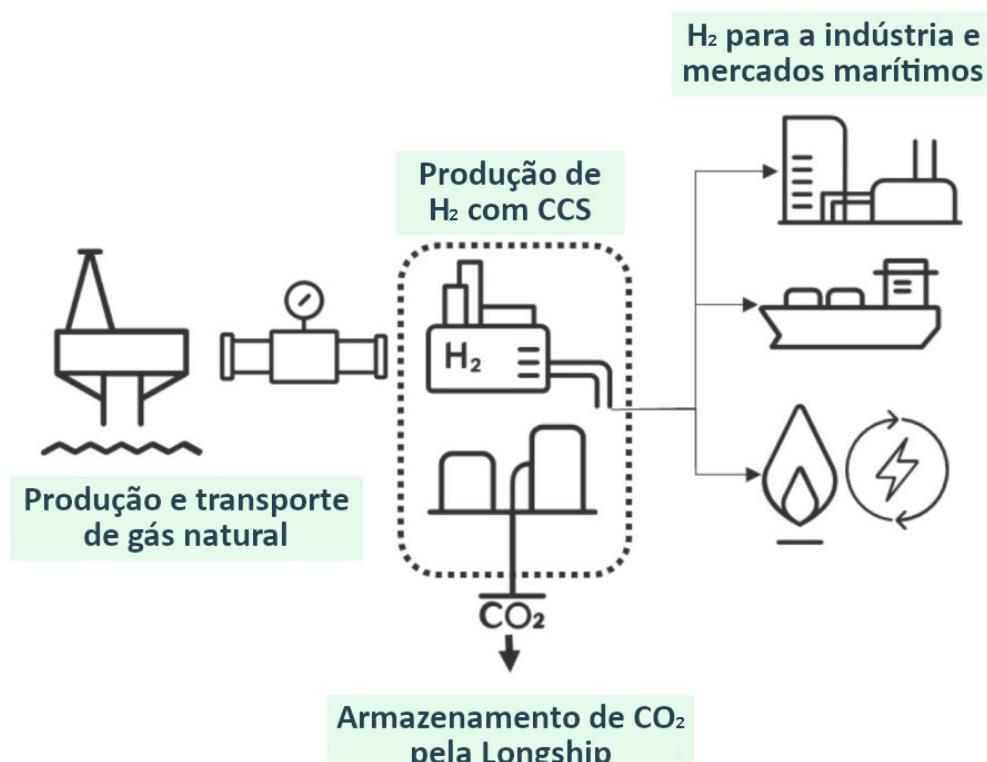
Alguns aquíferos salinos possuem propriedades que lhes concedem o título de bons reservatórios de CO₂: porosidade e permeabilidade relativamente altas. A porosidade está relacionada com a quantidade de poros que o material que compõe o reservatório possui. Quanto mais poros, ou seja, quanto maior a porosidade, maior a capacidade de armazenamento de fluidos do aquífero (ex. dióxido de carbono liquefeito ou LCO₂). Já a permeabilidade diz respeito à capacidade de deslocamento do fluido entre os poros do aquífero. Quanto mais interligados os poros estiverem, ou seja, quanto menos barreiras houver entre um poro e outro, mais facilmente o fluido irá se movimentar e menos energia é requerida para a injeção do LCO₂ no aquífero. Tais características são necessárias aos empreendimentos de produção de H₂ que optarem por destinar o dióxido de carbono, oriundo de suas atividades, a reservatórios *offshore* encontrados no Mar do Norte europeu.

A seguir, a logística empregada por dois dos principais projetos de produção de H₂ com CCS, HyDEMO e H2morrow Steel, é descrita. Compreender como se dão suas operações em ambientes *offshore* são essenciais para uma futura incorporação do H₂ com CCS na matriz energética brasileira.

2.1. HyDEMO

Buscando realizar uma demonstração do potencial da cadeia de valor do hidrogênio, a empresa norueguesa Equinor está desenvolvendo o projeto HyDEMO, com o início de suas operações previsto para 2025. A instalação localizada em Mongstad, Noruega, será a única do empreendimento a produzir H₂, sendo este por meio do SMR em ambiente *onshore*. Após capturado e liquefeito, o dióxido de carbono será transportado por dutos até o porto marítimo mais próximo. Em seguida, seu transporte ocorrerá por navios, em tanques criogênicos, até um terminal de recebimento, de onde partirá, também via dutos, até local de armazenamento permanente (arenito a aproximadamente 3.000 m abaixo da superfície do fundo do mar) (Hamburg *et al.*, 2021). A Figura 1 ilustra, de maneira simplificada, a logística do HyDEMO.

Figura 1. Logística do HyDEMO



Fonte: Hamburg *et al.* (2021)

O projeto pretende produzir de 35 a 80 toneladas por dia de H₂ (de aproximadamente 12.800 a 29.200 toneladas por ano; cerca de 60 a 130 MWh), tendo como produto de 100 a 230 mil toneladas, por ano, de CO₂. Um dos objetivos do HyDEMO é a captura de pelo menos 95% do CO₂ produzido, com a finalidade de gerar uma pegada ecológica equivalente a de outros processos sustentáveis de produção de H₂. O hidrogênio será disponibilizado para diversos mercados industriais e/ou marítimos, além de veículos de grande porte como caminhões e ônibus (Hamburg *et al.*, 2021).

2.2. H2morrow Steel

Oriundo da parceria entre as empresas Equinor, Open Grid Europe (OGE) e Thyssenkrupp Steel Europe (tkSE), o projeto intitulado H2morrow tem como objetivo a criação de uma cadeia completa de produção de H₂ e captura e armazenamento de CO₂. Com previsão de início para 2030, o projeto estima ser capaz de estocar até 11 milhões de toneladas⁵ de CO₂ (EQUINOR, 2021). Após a importação do gás natural da Noruega até a Alemanha, a produção de hidrogênio se dará por meio do ATR (Reforma Autotérmica), processo que utiliza parte do CO₂ resultante da reforma do metano para produzir o calor necessário que manterá o sistema de combustão em certo grau de retroalimentação. Após capturado e liquefeito, o CO₂ não utilizado será transportado por até 1.270 km, via dutos *offshore* e navios, até os poços de injeção para que seja armazenado permanentemente em aquífero salino na subsuperfície do fundo do Mar do Norte (OGE, 2021a).

Segundo OGE (2021b), o projeto pretende providenciar até 8.6 TWh/ano (0,21 Mt/ano) de hidrogênio proveniente de gás natural descarbonizado. Em relação ao CO₂ produzido pelo H2morrow, caso o empreendimento realize a captura e o armazenamento de, pelo menos, 1.9 milhão de toneladas de CO₂ por ano⁶ (OGE, 2021a).

2.3. Northern Lights e o conceito de hub de CCS

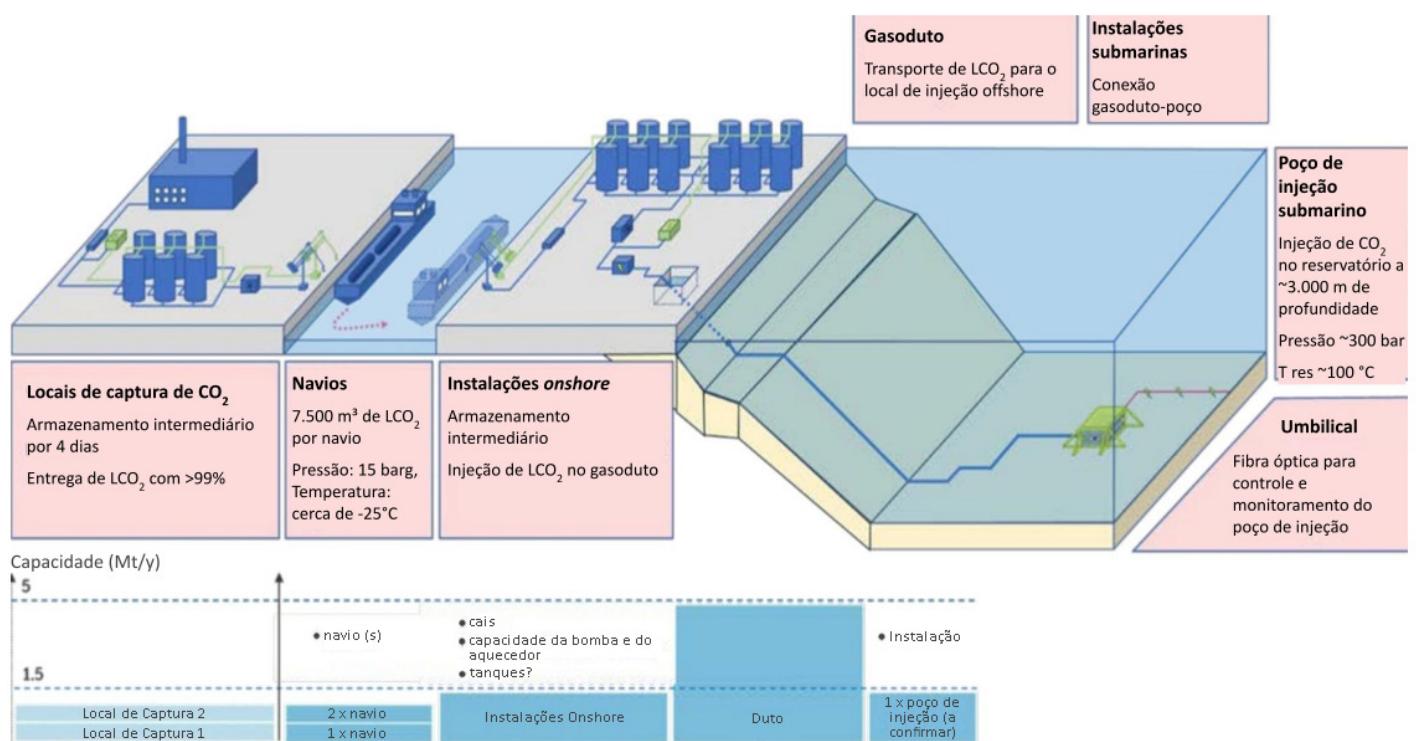
O Mar do Norte é uma região importante para o setor energético europeu, sobretudo por suas reservas de petróleo e gás natural. Entretanto, outra atividade vem crescendo nos últimos anos na porção norueguesa do Mar: o armazenamento permanente de CO₂ nos poros dos aquíferos salinos ali encontrados. Uma instalação, em grande escala, que possibilita a conexão de diversas fontes de dióxido de carbono a um único ponto de armazenamento funciona como um *Hub* de CCS, e a Noruega vem desenvolvendo o que poderá ser o maior *Hub* de CCS na região do Mar do Norte. Associado a um programa do governo norueguês chamado *Longship*, o projeto *Northern Lights* está sendo desenvolvido com o objetivo de capturar e armazenar o CO₂ produzido por atividades industriais realizadas, a princípio, na região de Oslo, Noruega.

O transporte do carbono coletado nas empresas parceiras será feito via duto até o porto marítimo mais próximo, sendo armazenado temporariamente em tanques criogênicos e levado por navios a um terminal de recebimento em Øygarden, Noruega. O próximo destino do CO₂ será um poço de injeção que se encontra a 100 km do terminal, instalado no fundo do mar, conforme mostrado na Figura 2, por meio de um duto *offshore* (NORTHERN LIGHTS 2021b). Por fim, o carbono será injetado e armazenado permanentemente no arenito que compõe a Formação Johansen, localizado a aproximadamente 3.000 m de profundidade (NORTHERN LIGHTS, 2021a).

⁵ Para efeito de comparação, as emissões brasileiras de CO₂ equivalente por processos industriais, em 2020, foram de 99,9 milhões de toneladas (SEEG, 2022). Logo, este projeto é capaz de estocar o equivalente a 11% das emissões do setor industrial brasileiro.

⁶ Equivalente a 1,9% das emissões do setor industrial brasileiro, para efeito de comparação.

Figura 2. Logística da primeira fase do Northern Lights



Fonte: Equinor (2019b)

Os projetos citados anteriormente (HyDEMO e H2morrow) são apenas dois dos diversos empreendimentos que se beneficiarão da infraestrutura do *Northern Lights* para destinar o carbono produzido por suas atividades. Conforme demonstrado pela Figura 3, o Mar do Norte banha as costas da Noruega, Dinamarca, Alemanha e Reino Unido, França, Bélgica e Países Baixos, e um projeto como o *Northern Lights* poderá suprir uma considerável parte da demanda europeia pela estocagem de carbono. Estima-se que os reservatórios do Mar do Norte possam armazenar um total de até 80 bilhões de toneladas de CO₂⁷ (NPD, 2021).

Figura 3. Parceiros do Northern Lights



Fonte: Equinor (2019a)

⁷ Equivalente a quase 20 anos de emissões totais da União Europeia em 2019 (PARLAMENTO EUROPEU, 2021).

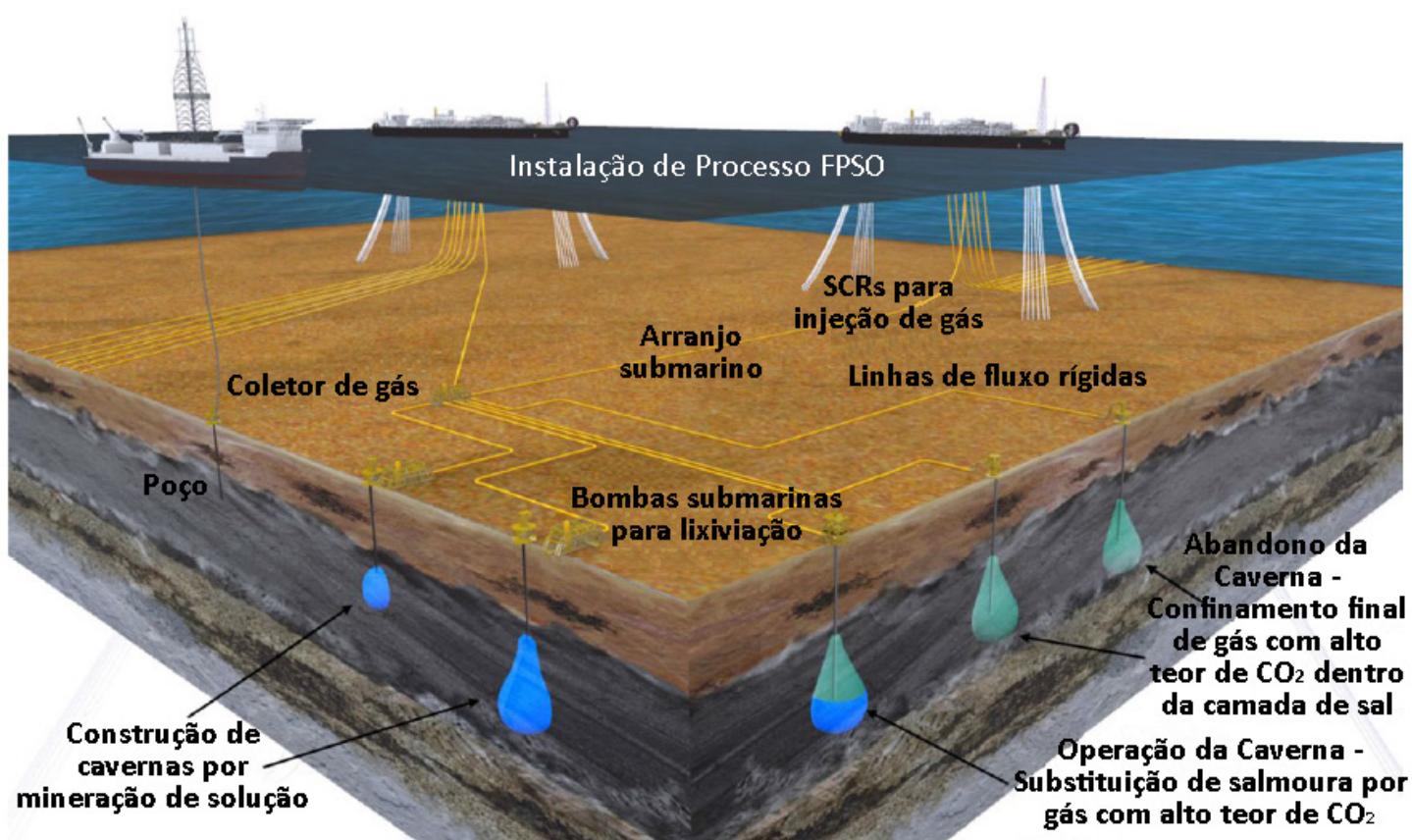
Vale ressaltar que um *Hub* de CCS pode capturar e armazenar o CO₂ proveniente de diversas fontes industriais, não apenas da produção de hidrogênio. Apesar de não haver projetos brasileiros na lista de divulgação da IEA (2020), alguns estudos estão sendo realizados para demonstrar a viabilidade deste tipo de empreendimento no país.

3. Projeto para CCS offshore no Brasil

Desenvolvido pelo Research Centre for Gas Innovation (RCGI) da Universidade de São Paulo, o “Project 34 - CCS in offshore salt caverns” é um estudo que, por meio de modelagem e simulação computacional, buscou explorar a viabilidade da criação de cavernas de sal, para estocagem de gás com altas concentrações de CO₂, na região do pré-sal, situado na Bacia de Santos, litoral do estado de São Paulo (Maia da Costa *et al.*, 2018).

As cavernas seriam, primeiramente, formadas por meio da injeção de água do mar a uma taxa de 200 m³/h, aquecida e sob altas pressões, na camada de halita do pré-sal (Maia da Costa *et al.*, 2019). Em seguida, a salmoura que formaria as cavernas seria gradualmente substituída pelo gás rico em CO₂. Conforme as cavernas fossem sendo completamente ocupadas pelo CO₂, estas seriam “abandonadas” para o confinamento permanente do dióxido de carbono. A Figura 4 ilustra a logística modelada pelos pesquisadores.

Figura 4. Conceito da logística do sistema de CCS no Pré-sal



Fonte: Maia da Costa *et al.* (2018)

Após os estudos, o projeto concluiu que uma caverna experimental poderia ser construída por dissolução da halita que compõe a camada mineral salina do pré-sal (Maia da Costa *et al.*, 2019). Além disso, a cúpula de sal poderia acomodar a construção de até 15 cavernas, cada uma podendo armazenar até 7,2 milhões de toneladas de CO₂. No total, as 15 cavernas proporcionariam espaço para o confinamento de aproximadamente 108 milhões de toneladas de CO₂⁸ (Maia da Costa *et al.*, 2018).

⁸ Equivalente a mais de um ano das emissões de CO₂ equivalente do setor de processos industriais brasileiro em 2020 (SEEG, 2022).

4. Considerações finais

O presente trabalho realizou um estudo de caso de como ocorre o transporte e a estocagem de CO₂ em projetos de produção de hidrogênio, a fim de analisar sua potencialidade no cenário brasileiro. Considerando o estágio avançado de planejamento em que os empreendimentos HyDEMO e H2morrow se encontram, tal como o alcance territorial pretendido pelo Northern Lights, notou-se a possibilidade da execução de empreendimentos semelhantes no Brasil, dando uma nova luz o pré-sal, não apenas como uma fonte de recursos, mas como um importante reservatório de CO₂ e, consequentemente, como uma medida efetiva de mitigação dos impactos negativos da queima de combustíveis fósseis.

Após reconhecer o grande potencial do pré-sal em comportar expressivas quantidades de CO₂, sua proximidade com importantes portos no Brasil (ex. Porto de Santos), além da demanda emergente por soluções energéticas sustentáveis, concluiu-se que a região possui potencial para se tornar um *Hub* de CCS. Ademais, uma vez que considerável parcela da produção brasileira de petróleo e gás natural ocorre em ambiente *offshore*, a possibilidade da construção de um sistema *offshore* de produção de hidrogênio com CCS demanda especial atenção de empreendedores e do Poder Público durante as pesquisas e os planejamentos futuros de projetos do ramo da energia.

A associação da produção de H₂ com CCS traz vantagens tanto econômicas quanto ambientais. Uma vez economicamente viabilizada, a comercialização do hidrogênio como combustível alternativo poderá proporcionar lucratividade para os empreendedores e subsidiar os custos da construção da infraestrutura necessária. Além disso, são evidentes os benefícios ambientais do armazenamento permanente do dióxido de carbono, em detrimento de seu descarte na atmosfera.

Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Referente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

Referências

- ALMEIDA, A. S. de, Souza, J. G. de, Madeiro, L. C. N., Costa, M. L. A. da, Cunha, A. L., Rodrigues, M. A., & Santos, A. F. dos. (2019). **Hidrogênio, o combustível do futuro.** *Diversitas Journal*, 4(2), 356-366. <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v4i2.593>
- ANP. **Produção de petróleo e gás do Pré-sal representa 71,27% do total nacional em fevereiro.** 2021. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/canais_atendimento/imprensa/noticias-comunicados/producao-de-petroleo-e-gas-do-pre-sal-representa-73-do-total-nacional--em-fevereiro#:~:text=Em%20fevereiro%20de%202021%2C%20a,na%20produ%C3%A7%C3%A3o%20nacional%20j%C3%A1%20registrado. Acesso em: 15 fev. 2022.
- BRUNDTLAND, G. H. (1987). The Brundtland Report: "Our Common Future." World Commission on Environment and Development.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética, 2022. Hidrogênio Cinza: Produção a partir da reforma a vapor do gás natural. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-654/NT%20Hidrog%C3%A3o%20Cinza.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2022.

EQUINOR. Hydrogen will be a key contributor to the energy transition. Here's what Equinor is doing. 2021. Disponível em: <https://www.equinor.com/en/what-we-do/hydrogen.html>. Acesso em: 15 fev. 2022.

EQUINOR. Northern Lights Contribution to Benefit Realisation. 2019a. Disponível em: <https://ccsnorway.com/wp-content/uploads/sites/6/2020/07/Northern-Lights-Contributor-to-Benefit-Realisation-sladdet-versjon-1.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.

EQUINOR. Plan for long-term use of the Northern Lights infrastructure. 2019b. Disponível em: <https://ccsnorway.com/wp-content/uploads/sites/6/2020/07/Plan-for-long-term-use-of-the-Northern-Lights-infrastructure-1.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.

HAMBORG, Espen Steinseth; GULBRANDSEN, Tom Henrik; STEENEVELDT, Rosetta; et al. Norwegian Hydrogen Value Chain Demonstration Based on Decarbonized Natural Gas. SSRN Electronic Journal, 2021. Disponível em: <<https://www.ssrn.com/abstract=3819993>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

IEA, 2020. Hydrogen Project Database.

MAIA DA COSTA, Alvaro; V. M DA COSTA, Pedro; D. UDEBHULU, Okhiria; et al. Potential of storing gas with high CO₂ content in salt caverns built in ultra-deep water in Brazil. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, p. ghg.1834, 2018. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ghg.1834>>.

MAIA DA COSTA, Alvaro; V.M. COSTA, Pedro; C.O. MIRANDA, Antonio; et al. Experimental salt cavern in offshore ultra-deep water and well design evaluation for CO₂ abatement, *International Journal of Mining Science and Technology*, <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.05.002>

NORTHERN LIGHTS. How does CO₂ storage work? 2021a. Disponível em: <<https://northernlightsccs.com/news/how-does-co2-storage-work/>>. Acesso em: 10 nov. 2021.

NORTHERN LIGHTS. What we do. 2021b. Disponível em: <https://northernlightsccs.com/what-we-do>. Acesso em: 15 fev. 2022.

NPD. Carbon storage. Disponível em: <<https://www.npd.no/en/facts/carbon-storage/>>. Acesso em: 11 nov. 2021.

OGE. H2morrow: act today to be greenhouse gas neutral by 2050. act today to be greenhouse gas neutral by 2050. 2021a. Disponível em: <https://oge.net/en/us/projects/our-hydrogen-projects/h2morrow>. Acesso em: 15 fev. 2022.

OGE. **PRESS RELEASE:** Equinor and Open Grid Europe present joint H2morrow project to support deep decarbonization of German industry. 2021b. Disponível em: https://oge.net/_Resources/Persistent/8/5/1/a/851a24bbadd271589017e5a951394833b0ceb669/20191008_H2morrow_Press%20release.pdf. Acesso em: 30 out. 2021.

PARLAMENTO EUROPEU. Emissões de gases com efeito estufa por país e setor (Infografia). 2021. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20180301STO98928/emissoes-de-gases-com-efeito-de-estufa-por-pais-e-setor-infografia>. Acesso em: 9 mar. 2022.

SEEG. Emissões Totais. Disponível em: <https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission>. Acesso em: 1 mar. 2022.

SHELL. QUEST CARBON CAPTURE AND STORAGE. 2021. Disponível em: https://www.shell.ca/en_ca/about-us/projects-and-sites/quest-carbon-capture-and-storage-project.html. Acesso em: 31 out. 2021.

Análise do Quadro Regulatório e de Locação de Poço Exploratório de Hidrocarboneto Não-Convencional na Bacia do Recôncavo

Analysis of the Regulatory and Leasing Framework for a Non-Convention Hydrocarbon Exploration Well in the Recôncavo Basin

Tirzah Loriato Moraes Silva

Thiago Luis Felipe Brito

Sumário: 1. Introdução. 2. Metodologia. 3. Referencial Teórico. 4. Resultados e Discussão. 5. Conclusão. 6. Agradecimentos. 7. Bibliografia.

Resumo: No ano de 2020 teve fim o período de 5 anos em que ações judiciais proibiram a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) de licitar atividades em reservatórios não-convencionais em todo o País, como reservatórios de baixa permeabilidade que utilizam a técnica de Fraturamento Hidráulico(fracking).

O fracking é uma técnica aplicada para extração de recursos em reservatórios de baixa permeabilidade, entretanto seus potenciais riscos já foram motivação para diversos debates acerca de seus prós e contras, e no Brasil, foi um dos fatores que causou a proibição das atividades. Um dos maiores motivos para esta proibição, foi a opinião pública contrária a esta técnica, baseados no princípio da precaução, visando evitar qualquer potencial risco, mas tendo muitos argumentos baseados em desinformação.

O Shale Gas, gás natural retirado de reservatórios em folhelho (shale), são reservatórios não convencionais de baixa permeabilidade que foram afetados pela proibição deste tipo de atividade, que também, mas apresentam grande potencial exploratório em terra (onshore) no Brasil.

Embora nem todas as barreiras que causaram esta proibição tenham sido solucionadas, foram criados diversos programas e projetos que visam solucioná-las estimular a exploração e produção (E&P) de shale gas onshore no País.

Um dos principais programas é o Reate2020, visa o incentivo à exploração onshore, de poços maduros, de operadoras de pequeno a médio porte, e de gás natural, todas categorias em que o shale gas se encaixa. A Nova Lei do Gás (Lei n° 14.134) minimizou a burocracia na construção de gasodutos, incentivando a E&P de gás natural. Outro projeto importante foi o Projeto Poço Transparente, que visa a construção, monitoramento e estudo de um poço piloto em reservatórios de baixa permeabilidade, buscando gerar e ampliar o conhecimento acerca do fraturamento hidráulico aplicado a este tipo de reservatório ampliar o conhecimento e desmistificação deste tipo de atividade.

Existem muitas oportunidades para a E&P de shale gas no Brasil, entretanto muitas das barreiras que causaram o congelamento das atividades anteriormente ainda existem, mas os projetos e programas governamentais citados acima, podem solucionar algumas destas barreiras.

Durante este projeto será realizada a análise bibliográfica acerca da legislação e do estado da E&P de recursos não-convencionais no Brasil. Também será realizado um estudo da geologia da Bacia do Recôncavo, através de análise da bibliografia existente, trabalhos de campo e análises laboratoriais.

Tendo em vista o cenário nacional atual este projeto tem como objetivo compreender melhor a legislação acerca dos não convencionais no Brasil, e a geologia da Bacia do Recôncavo, a fim de descobrir a viabilidade da E&P de Shale Gas e um determinar o melhor local para a implementação de um poço do projeto Poço Transparente na Bacia do Recôncavo.

Palavras-chave: Shale Gas; Bacia do Recôncavo; Poço; exploração e produção.

Abstract: In 2020, the 5-year period in which lawsuits prohibited the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels (ANP) from bidding for activities in non-conventional reservoirs across the country, such as low permeability reservoirs that use the hydraulic fracturing technique (fracking).

Fracking is a technique applied to extract resources in low permeability reservoirs, however its potential risks have already been motivation for several debates about its pros and cons, and in Brazil, it was one of the factors that caused the prohibition of activities. One of the biggest reasons for this ban was public opinion against this technique, based on the precautionary principle, aiming to avoid any potential risk, but having many arguments based on misinformation.

The Shale Gas, natural gas taken from reservoirs in shale, are unconventional reservoirs of low permeability that were affected by the prohibition of this type of activity, which also, but have great exploratory potential onshore in Brazil.

Although not all the barriers that caused this ban have been solved, several programs and projects were created to solve them and stimulate the exploration and production (E&P) of onshore shale gas in the country.

One of the main programs is Reate2020, which aims to encourage onshore exploration, mature wells, small to medium-sized operators, and natural gas, all categories in which shale gas fits. The New Gas Law (Law No. 14,134) minimized bureaucracy in the construction of gas pipelines, encouraging natural gas E&P. Another important project was the Poço Transparente Project, which aims to build, monitor and study a pilot well in low permeability reservoirs, seeking to generate and expand knowledge about hydraulic fracturing applied to this type of reservoir. of activity.

There are many opportunities for shale gas E&P in Brazil, however many of the barriers that caused the freezing of activities in the past still exist, but the government projects and programs mentioned above can solve some of these barriers.

During this project, a bibliographic analysis will be carried out about the legislation and the state of E&P of non-conventional resources in Brazil. A study of the geology of the Recôncavo Basin will also be carried out, through analysis of the existing bibliography, field work and laboratory analyses.

In view of the current national scenario, this project aims to better understand the legislation on unconventional in Brazil, and the geology of the Recôncavo Basin, in order to discover the feasibility of the E&P of Shale Gas and to determine the best place for the implementation of a well in the Poço Transparente project in the Recôncavo Basin.

Keywords: Shale Gas; Recôncavo Basin; Pit; Exploration and production.

1. Introdução

A exploração e produção de shale gas (gás de folhelho) no Brasil é um assunto polêmico, tendo em vista que necessita da utilização da técnica de fraturamento hidráulico. Esta técnica tem possibilitado a exploração e produção (E&P) de reservatórios não convencionais, mas também trouxe consigo novos riscos e incertezas, tendo em vista que é recente a aplicação deste método neste tipo de reservatórios.

Tendo em vista esta problemática, o presente artigo aborda a análise bibliográfica de artigos, teses, dissertações, livros e cadernos, para se apresentar um compilado dos pontos mais relevantes acerca da regulação nacional existente e necessária para que se inicie de maneira segura e benéfica economicamente a exploração e produção do gás de folhelho (shale gas).

A aplicação do fracking em reservas não convencionais possui benefícios, como o maior alcance das reservas disponíveis e o usufruto econômico deste tipo de produção, mas também apresenta riscos conhecidos e desconhecidos. Entre os riscos conhecidos estão alguns que também podem ocorrer em operações de reservas convencionais, e alguns ligados exclusivamente a essa técnica, como o grande uso de água, descarte de água de rejeito, contaminação de águas superficiais e subterrâneas, reativação de fraturas geológicas, comprometimento da integridade de poços, e indução sísmica. Além dos riscos conhecidos, a técnica pode causar riscos que ainda não se possui conhecimento, tendo em vista que é uma atividade recente.

Os riscos do fracking têm motivado os movimentos no-fracking, contra o fraturamento hidráulico, com o objetivo de proteger a saúde e segurança da sociedade e meio ambiente dos riscos desta atividade; e pro-fracking, que defendem a utilização do método, focando nos benefícios trazidos com esta aplicação e visualizando a crescente segurança na utilização do fracking mundialmente.

O Brasil, em 2013, tendo em vista a grande oportunidade nacional que seria a exploração de não convencionais, fez a 12º Rodada de Licitações de Blocos da ANP, em que pela primeira vez foram licitados blocos com potencial exploratório para a exploração e produção de recursos não convencionais. No ano seguinte, ao fim das licitações, foi publicada a Resolução nº21 da ANP que é a única regulação para esse tipo de atividade no país. No entanto, essa resolução não cobre todos os riscos conhecidos, fazendo com que a sociedade civil influenciada pelo movimento no-fracking, entrasse com ações judiciais que suspenderam os contratos da 12º Rodada, e proibiu a ANP de licenciar/licitar empreendimentos em reservatórios não convencionais por cinco anos.

Durante esse hiato na produção de não convencionais como o shale gas, o governo brasileiro desenvolve projetos e programas que incentivam a exploração em terra, de gás natural e de não convencionais. Estes programas podem influenciar como ocorre a exploração de gás de folhelho no país.

Estes programas nos permitem dizer que existem muitas oportunidades para a E&P de *shale gas* no Brasil, entretanto é possível observar que mesmo com o desenvolvimento de projetos e programas pelo governo e a resolução nº 21 da ANP, ainda é preciso obter a licença social através de estudos claros e comunicação entre cientistas, governo e interessados, para que seja possível a formulação de uma regulação de peso específica para a aplicação de fraturamento hidráulico em reservas não convencionais, como os folhelhos e se fazer possível e benéfica a exploração e produção de shale gas no Brasil.

Outro empecilho é o uso excessivo do princípio da Precaução, princípio que se ausente permite que atividades com alta potencialidade de causar danos funcionem; se utilizado adequadamente pondera riscos, gravidade dos riscos, e oportunidades geradas pelo empreendimento; mas se utilizado excessivamente impede que atividades com riscos baixos de dano, que por vezes são solucionáveis caso ocorram, não possam ocorrer, que é o caso das atividades não convencionais.

2. Metodologia

Durante este projeto será realizada a análise bibliográfica de artigos, teses e dissertações que tratam da legislação e do estado da E & P de recursos não-convencionais no Brasil. Também será realizado um estudo bibliográfico da geologia da Bacia do Recôncavo e posteriormente serão realizados trabalhos de campo e análise de amostras coletadas na região.

3. Referencial Teórico

Os projetos e programas governamentais, criados durante os 5 anos de proibição da licitação de blocos exploratórios com potencial para E&P de recursos não-convencionais, podem solucionar algumas destas barreiras, ampliando assim os horizontes do país quando a sua matriz energética. O primeiro passo desse processo deve começar com a perfuração do Poço Piloto, dentro do Projeto Poço Transparente, e de preferência estar *onshore* para que cumpra com o REATE2020, Programa de Revitalização das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Áreas Terrestres, que estimula a E&P nacionais em terra. Entretanto, ainda é possível observar discordância entre profissionais sobre qual a melhor bacia e a localização para perfurar este Poço Piloto. A localidade ideal seria uma com histórico de E&P, pois apresentaria infraestrutura prévia e haveria menor resistência da população das proximidades, considerando que estão habituados a atividades deste tipo. Atualmente a bacia que se alinha com estes aspectos e apresenta potencial para E&P de *shale gas* é a Bacia do Recôncavo (Silva, 2021).

A Bacia do Recôncavo está entre as principais bacias nacionais com potencial exploratório para *shale gas* tendo em vista que apresenta provável potencial para ocorrência de *shale gas* e *tight gas*, possui grande conhecimento geológico, um histórico de produção de hidrocarbonetos e consequentemente, possui infraestrutura para a E&P (Figura 1). Sendo assim a mais visada para dar início à exploração de não convencionais no país (REAT, 2020).

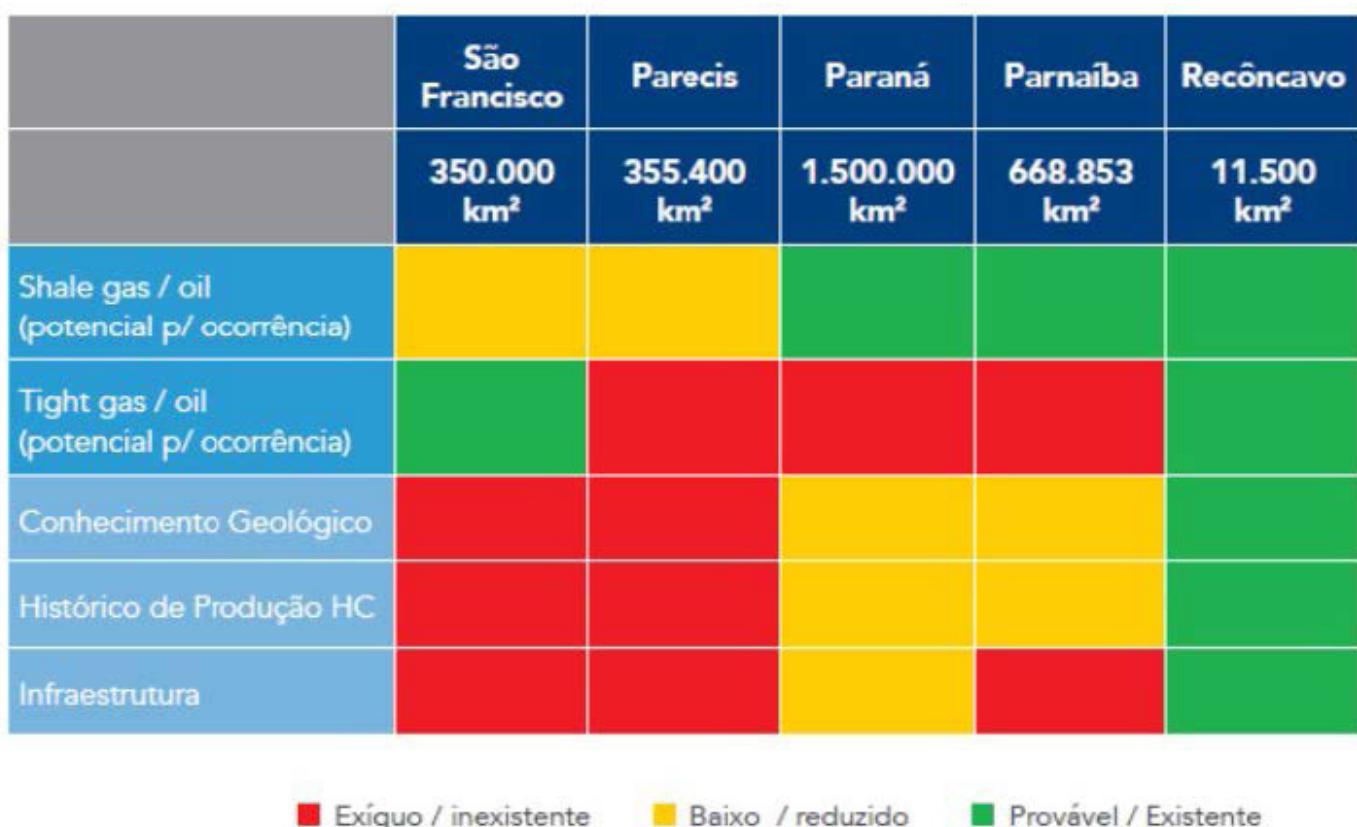


Figura 1. Bacias sedimentares brasileiras e seu potencial para fins não convencionais (REAT, 2020).

A Bacia do Recôncavo ocupa o Leste do Estado da Bahia, Brasil, apresentando uma orientação NE-SW, ocupando área de aproximadamente 11.000 km². A Bacia é limitada ao norte e nordeste pela Bacia de Tucano, pelo Alto de Aporá; e limitada ao sul é pela Bacia de Camamu, e pelo sistema de falhas da Barra; a leste, pelo sistema de falhas de Salvador; e a oeste pela Falha de Maragogipe (Figura 2) (ANP; BASTOS, 2017).

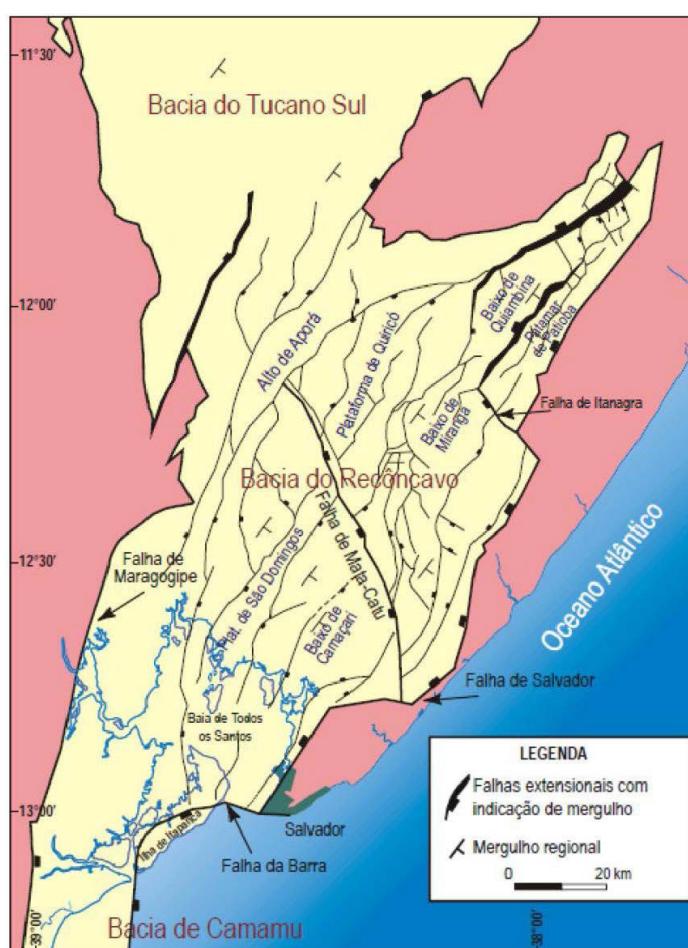


Figura 2. Localização limítrofe e arcabouço estrutural da Bacia do Recôncavo (Milhomem et al., 2003).

A bacia é composta por cinco setores terrestres, SREC-T1 a SREC-T5, e o setor SREC-C, que cobre a Baía de Todos os Santos. Embora atualmente seja considerada uma bacia madura, dado o conhecimento adquirido da região ao longo dos anos e sua exploração histórica, ainda apresenta potencial exploratório, principalmente para exploração de recursos não convencionais (ANP; BASTOS, 2017).

A última rodada em que houve oferta de blocos exploratórios na Bacia do Recôncavo foi a Décima Quarta Rodada de Licitações da ANP em 2017, na qual 27 blocos exploratórios foram ofertados. Esses blocos somavam uma área de 643,08 km² de porção sedimentar emersa e ocupam os setores SREC-T1, SREC-T2, SREC-T3 e SREC-T4. Na figura 4 podemos observar a localização dos dados de sísmica e poços existentes da Bacia do Recôncavo, reafirmando que se trata de uma bacia madura.

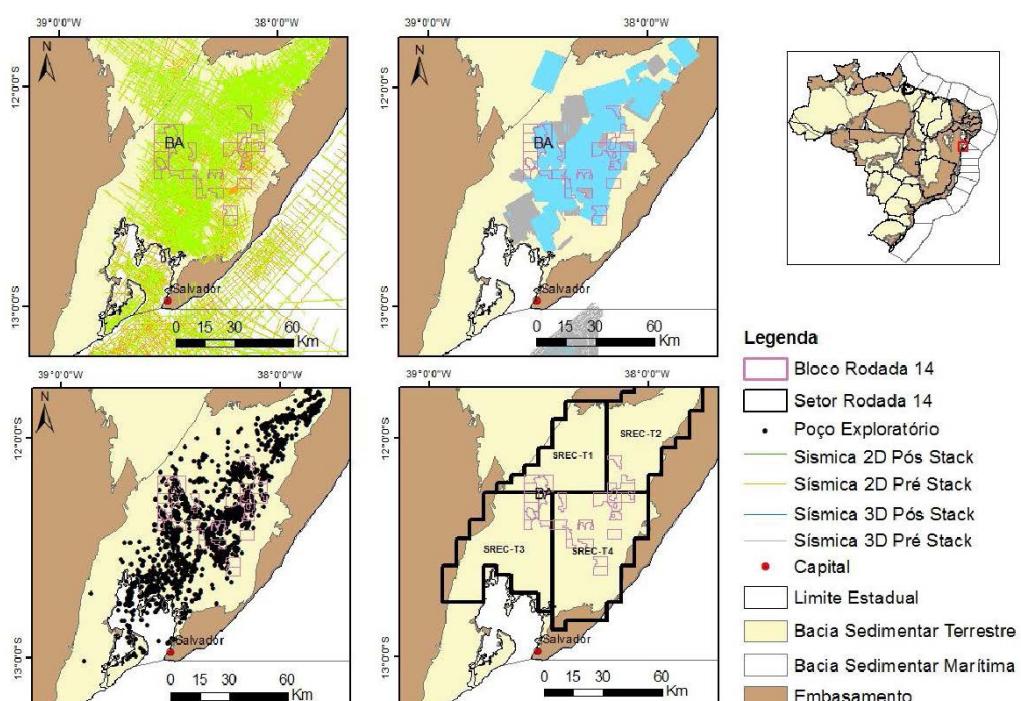


Figura 3. Mapa de localização dos dados de sísmica e poços existentes da Bacia do Recôncavo (ANP; BASTOS, 2017).

Histórico:

Os primeiros a descrever, por volta de 1818, as unidades de aflorantes na orla da Baía de Todos os Santos foram Johann Baptist von Spix e Carl Friedrich Philipp von Martius, naturalistas bávaros que vieram em expedição ao brasil de 1817 a 1820 (LISBOA, 1995). Durante a segunda parte do século XIX, no ano de 1859, foram registradas influências de petróleo em cortes de estradas de ferro no Recôncavo Baiano, nas redondezas de Salvador (LUCCHESI, 1998).

No início do século XX ao se observar um nítido aumento na perfuração de poços no Brasil, foram criados o Serviço Geológico e Mineralógico Brasileiro (SGMB)-1907, e o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM)-1933. Em 1937 foi criado o Conselho Nacional do Petróleo CNP, dando início a exploração petrolífera nacional, entretanto apenas em 1939, em Lobato, no Recôncavo Baiano, é encontrada a primeira acumulação significativa de petróleo do país (ANP; BASTOS, 2017; LUCCHESI, 1998).

A CNP conduziu, entre os anos de 1941 a 1953, a descoberta de diversos campos na Bacia do Recôncavo Baiano, como os campos de Candeias (1941), Aratu e Itaparica (1942), Dom João (1947) e Água Grande (1952) (ANP; BASTOS, 2017). Neste período foram perfurados diversos poços na Bacia do Recôncavo, resultando na descoberta de um total de 10 campos em que as reservas alcançadas atingiram 297,9 x 106 barris; e a produção chegava a 2.720 barris de petróleo por dia (LUCCHESI, 1998).

Em 1954 a exploração na bacia do Recôncavo Baiano passou a ser exclusiva da Petrobras. Neste período a empresa concentrou seus esforços no Recôncavo e no Amazonas, trazendo técnicos estrangeiros para exploração. No início da década de 60 se observa o aumento significativo no número de técnicos habilitados brasileiros, as atividades nas bacias amazônicas e paleozóicas diminui, fazendo com que os esforços se voltam para as bacias cretáceas costeiras, como a bacia do Recôncavo (LUCCHESI, 1998).

Com o tempo, a Petrobras descobre novas acumulações de petróleo e gás, fazendo com que nos anos 70 fossem descobertas 30 novas acumulações, 20 destas em terra, em que se destacou o Remanso, na Bacia do Recôncavo. Na década de 80 foram descobertas 148 acumulações, 98 em terra, e entre as mais importantes descobertas estava o Riacho da Barra, também na Bacia do Recôncavo (LUCCHESI, 1998).

Assim, entre os anos de 1954 e 1997 uma centena de novas acumulações foram descobertas, neste período se consolidaram os campos de Araçás, Buracica, Fazenda Alvorada, Fazenda Bálamo, Fazenda Imbé, Miranga, Riacho da Barra, Rio do Bu, e Taquipe dentre outros (ANP; BASTOS, 2017).

A partir da constituição de 1988, os contratos de risco foram proibidos, sendo permitidos apenas em contratos deste tipo onde foram feitas descobertas comerciais. (LUCCHESI, 1998). Atualmente são feitos estudos gravimétricos e magnetométricos, que resultaram na aquisição de dados sísmicos 2D e 3D, descoberta de 6.725 novos poços na Bacia do Recôncavo, sendo que 1.263 destes apresentam potencial exploratório (ANP; BASTOS, 2017; LUCCHESI, 1998).

Em 1997, a Lei 9.478/97 criou a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e finalizou monopólio da Petrobras. O fim do monopólio exploratório atraiu maiores investimentos para o país, aumentando o número de descobertas de acumulações de O&G (ANP; BASTOS, 2017).

Desde o início de sua exploração até 2017 a Bacia do Recôncavo já produziu aproximadamente 1,6 bilhão de barris de óleo e 73,2 bilhões de m³ de gás. Em dezembro de 2016 reservas provadas (1P) somavam 182 milhões de barris de óleo e 5,5 bilhões de m³ de gás natural (ANP; BASTOS, 2017).

Produção:

A produção de gás natural em 2019 do estado da Bahia conta com 8.077 Milhões de m³ em Reservas Totais em terra de Gás Natural; 5.672 Milhões de m³ em Reservas Provadas em terra de Gás Natural; 1.235 de unidades de Poços Produtores de Petróleo e Gás Natural; Produz 759,1 Milhões de m³ de Gás Natural. Quanto Produção de Petróleo da Bacia do Recôncavo em 2019: 1.631.697 m³. Enquanto que a produção de Petróleo da Bacia do Recôncavo, por corrente em: Baiano Mistura 1.463.886 m³; Canário 3.517 m³; Cardeal do Nordeste 468 m³; Fazenda Santo Estevão 11.247 m³; Lagoa do Paulo Norte 4.875 m³; Tico-tico 6 m³; Tiê 146.060 m³; Trovoada 924 m³; Uirapuru 714 m³ (ANP, 2020).

Empresas:

No ano de 2019, 26 empresas que atuavam na bacia do recôncavo, sendo elas: Alvopetro; Cowan Petróleo e Gás; Energizzi Energias; Geopark Brasil; Geopar-Gesol; Great Energy; Great 42; Great 108; Guindastes Brasil; Imetame; Maha Energy; Newo; Nova Petróleo; NTF; Oil Group; Petroil; Petrobras; Petroil; Petrosynergy; Recôncavo Energia; Recôncavo E&P; Santana; SHB; Sonangol Guanambi; Tog Brasil. Elas se dividiam entre as etapas de P&G na bacia. Na Fase de Exploração temos a Alvopetro; Cowan Petróleo e Gás; Geopark Brasil; Geopar-Gesol; Great Energy; Great 42; Great 108; Imetame; Maha Energy; Petrobras; Petroil; Recôncavo Energia; Tog Brasil (ANP, 2020). Na Etapa de Desenvolvimento da Fase de Produção temos a Alvopetro; Energizzi Energias; Guindastes Brasil; Imetame; Newo; NTF; Oil Group; Petrobras; Petroil; Petrosynergy (ANP, 2020). Na Etapa de Produçāi da Fase de Produção temos a Alvopetro; Imetame; Maha Energy; Nova Petróleo; Petrobras; Petrosynergy; Recôncavo E&P; Santana; SHB; Sonangol Guanambi (ANP, 2020).

Situação atual:

Em maio de 2017 a Bacia do Recôncavo tinha 65 campos em produção de óleo e 16 campos de gás natural, a produção diária de hidrocarbonetos era de 33 mil barris para óleo e 2.300 m³ para gás. Entre a 9^a e a 13^a Rodadas de Licitação, a bacia possui 70 blocos exploratórios sob concessão (ANP; BASTOS, 2017).

Em dezembro de 2019 a Bacia do Recôncavo possuía 39 blocos em terra na fase de exploração, 15 Campos em terra na etapa de desenvolvimento da fase de produção, e 89 campos em terra na etapa de produção da fase de produção (ANP, 2020).

Em 31 de dezembro de 2019 havia 39 Blocos em terra na fase de Exploração, oferecidos na 9, 11, 12, 13 e 14 rodadas. Sendo a exploração é feita pelas empresas: Alvopetro; Cowan Petróleo e Gás; Geopark Brasil; Geopar-Gesol; Great Energy; Great 42; Great 108; Imetame; Maha Energy; Petrobras; Petroil; Recôncavo Energia; Tog Brasil (ANP, 2020).

Em 31 de dezembro de 2019 havia 15 Campos em terra na etapa de desenvolvimento da fase de Produção. Sendo o desenvolvimento é feito pelas empresas: Alvopetro; Energizzi Energias; Guindastes Brasil; Imetame; Newo; NTF; Oil Group; Petrobras; Petroil; Petrosynergy(ANP, 2020).

Em 31 de dezembro de 2019 havia 89 Campos em terra na etapa de Produção da fase de Produção, com produção feita pelas empresas: Alvopetro; Imetame; Maha Energy; Nova Petróleo; Petrobras; Petrosynergy; Recôncavo E&P; Santana; SHB; Sonangol Guanambi (ANP, 2020).

Em 2019 foram arrematadas áreas na Bacia do Recôncavo nas Licitações do 1º Ciclo da Oferta Permanente. No mesmo ano iniciaram a produção no campo Itaparica, em porção emersa da bacia e foram arrematadas áreas com Acumulações Marginais na bacia do Recôncavo (ANP, 2020).

Para a Petrobras, trabalhar com campos maduros impõe o desafio de sempre buscar novas tecnologias para aumentar a recuperação e prolongar sua vida útil. A empresa afirma que explora, desenvolve e produz O&G em concessões na bacia sedimentar do recôncavo, em sua porção onshore, e em outras bacias da Bahia, que juntas somam uma área de 135.400 km² (PETROBRAS, 2020).

Com o avanço da tecnologia, a produção de O&G produzidos na Bahia fica cada vez mais longe de acabar, considerando que o volume de reservatórios, atualmente, é maior que a produção acumulada desde 1940. Campos históricos como Candeias, em atividade desde 1941, sendo o primeiro campo comercial do país; o campo Dom João Terra, 1947; e o Água Grande, 1951, se mantém em atividade até hoje (PETROBRAS, 2020).

4. Resultado e Discussão

Para dar início a exploração e produção de shale gas no Brasil é preciso que se escolha uma bacia sedimentar com potencial exploratório para tal atividade, de preferência madura, e onshore. A partir da literatura analisada observamos que a Bacia do Recôncavo, considerando que esta bacia apresenta provável potencial para ocorrência de shale gas, contém grande conhecimento geológico, um longo histórico de produção de hidrocarbonetos e consequentemente, possui infraestrutura para a E&P. A Bacia do Recôncavo se posiciona a frente de outras bacias com potencial exploratório para shale gas, tendo em vista que estas não cumprem com todos os requisitos ideais citados acima para o início deste tipo de E&P.

Esta Bacia além de apresentar todas as características necessárias para o início da exploração, se encontra em terra, o que entra em acordo com o Programa de REATE2020, que visa revitalizar a E&P onshore, principalmente a E&P de gás.

O histórico de mais de cem anos de exploração e produção auxiliaria muito em uma exploração de não convencionais atualmente, uma vez que a bacia possui diversos estudos e dados adquiridos ao longo dos anos com as atividades, e com o aproveitamento da infraestrutura existente.

As previsões de produção da Bacia são muito favoráveis, tendo em vista que é maior que a produção acumulada desde 1940, entretanto, isso pode diminuir o interesse em investimentos em E&P não convencionais.

5. Considerações Finais

A Bacia do Recôncavo é uma das bacias com maior potencial exploratório de não convencionais no país. A produção atual de recursos convencionais na bacia do recôncavo ainda é alta e apresenta boas perspectivas para o futuro, mas é importante considerar que quando os recursos convencionais da bacia forem esgotados, a E&P de recursos não convencionais será essencial para obtenção de hidrocarbonetos.

Embora muitas das barreiras para exploração e produção de recursos não convencionais ainda existam, a Bacia do Recôncavo demonstra ser o local ideal para a locação do Poço Piloto do projeto Poço Transparente, o que diminuirá a maioria das incertezas quanto a exploração de não convencionais e, assim, atraindo investidores para este tipo de atividade no país.

6. Agradecimentos

Agradecemos o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – PRH-ANP, suportado com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas na Cláusula de P,D&I da Resolução ANP nº 50/2015 (PRH 33.1 - Re-

ferente ao EDITAL Nº1/2018/PRH-ANP; Convênio FINEP/FUSP/USP Ref. 0443/19). Agradecemos o apoio do RCGI – Research Centre for Gas Innovation, localizado na Universidade de São Paulo (USP) e financiado pela FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (2014/50279-4 e 2020/15230-5) e Shell Brasil, e a importância estratégica do apoio dado pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) através do incentivo regulatório associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

7. Referências

- ANP. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2020. **Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis**, [S. I.], p. 265, 2020. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/arquivos/central-conteudos/anuario-estatistico/2020/anuario-2020.pdf>.
- ANP; BASTOS, Ildeson Prates. BACIA DO RECÔNCAVO Sumário Geológico e Setores em Oferta. [S. I.], p. 1–9, 2017. Disponível em: http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round14/Mapas/sumarios/Sumario_Geologico_R14_Reconcavo.pdf.
- ANP; SDT. Setores SREC-T1, SREC-T2, SREC-T3 e SREC-T4 - Bacia do Recôncavo. [S. I.], p. 2017, 2017. Disponível em: http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round14/Mapas/Areas/SETORES_R14_Reconcavo_V2.pdf.
- LISBOA, Kare Macknow. **Viagem pelo Brasil de Spix e Martius: Quadros da Natureza e Esboços de uma Civilização Revista Brasileira de História**, 1995. Disponível em: %0A05. Viagem pelo Brasil de Spix e Martius - Anpuhwww.anpuh.org › arquivo › download%0A.
- LUCCHESI, Celso Fernando. Petróleo. **Estudos Avançados**, [S. I.], v. 12, n. 33, p. 17–40, 1998. DOI: 10.1590/s0103-40141998000200003.
- PETROBRAS. Bacia do Recôncavo. [S. I.], 2020. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-do-reconcavo.htm>.
- MME - Ministério de Minas e Energia. REATE 2020: Plano Integrado de Ação do Programa de Revitalização das Atividades de Exploração e Produção de Petróleo e Gás Natural em Áreas Terrestres. 2019.
- SILVA, Tirzah Loriato Moraes; BRITO, Thiago Luis Felipe; SANT'ANNA, Lucy Gomes; COSTA, Hirdan Katarina de Medeiros; MOUTINHO DOS SANTOS, Edmilson. REVISÃO SISTEMÁTICA DO ESTADO DA ARTE DA REGULAÇÃO PARA SHALE GAS NO BRASIL. IV Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, [S. I.], 2021.

EVEEx2021 Energy Virtual Experience

ISBN 978-989-33-5163-5



9 789893 351635