

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

ENERGIAS RENOVÁVEIS:
UMA BREVE REVISÃO SOBRE AS ENERGIAS EÓLICA, GEOTÉRMICA E
PIEZOELÉTRICA NO BRASIL E NO MUNDO

PONTA GROSSA
2020

GABRIEL ALEXSANDER KORELO
GUSTAVO DO PRADO
GUSTAVO EDUARDO B DO NASCIMENTO
HELENA RENTSCHLER
HENRIQUE TEMP KASDORF
LÍLIAN RODRIGUES LOPES

ENERGIAS RENOVÁVEIS:
UMA BREVE REVISÃO SOBRE AS ENERGIAS EÓLICA, GEOTÉRMICA E
PIEZOELÉTRICA NO BRASIL E NO MUNDO

Artigo de revisão apresentado para
obtenção de nota bimestral na
disciplina de Introdução à
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme
Araujo Vuitik.

PONTA GROSSA
2020

RESUMO

As energias renováveis, mais especificamente a Piezoelétrica, a geotérmica e a Eólica se encontram em diferentes estágios de desenvolvimento no Brasil e no mundo. Todas elas seguem a tendência mundial de preservação do meio ambiente através da substituição dos combustíveis fósseis tradicionais. Alicerçando-se nessa mesma lógica, o Brasil deve também diversificar sua matriz energética, a qual ainda é muito centrada nas grandes Hidrelétricas, apesar do crescimento significativo da energia eólica, proveniente do vento, na última década. Partindo disso, este artigo objetiva reunir informações da literatura já existente acerca das fontes de energia piezoelétrica, geotérmica e eólica, seus usos e previsões futuras de expansão, bem como comparar a capacidade energética brasileira a de países referenciais em cada uma das energias. Sendo a energia eólica a mais comum dentre as três no Brasil e no globo, destaca-se a proeminência do nordeste brasileiro no setor e o progressivo barateamento de custos da tecnologia mundialmente. A energia geotérmica, por sua vez, é ainda condicionada aos países desenvolvidos com maior atividade tectônica no que diz respeito ao seu uso Indireto, porém, em se tratando dos seus usos diretos, encontram-se vários exemplos no Brasil e em outras economias em desenvolvimento. Finalmente, a energia piezoelétrica, obtida a partir movimento mecânico, é uma inovação que se encontra em fase de estudo e desenvolvimento ao redor do mundo. Conclui-se que as energias renováveis abordadas apresentam altas tendências no mercado mundial, extremamente vantajosas ambientalmente e economicamente, ainda sendo necessárias mais pesquisas e investimentos nos respectivos setores.

Palavras-chave: Energia Renovável. Energia Eólica. Energia Geotérmica. Energia Piezoelétrica. Brasil.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	4
2.OBJETIVOS	5
3.METODOLOGIA.....	6
4.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	7
4.1. ENERGIA EÓLICA.....	7
4.1.1. Energia eólica - Brasil	7
4.1.2. Energia Eólica - Países Referência.....	9
4.2. ENERGIA GEOTÉRMICA.....	10
4.2.1. Energia Geotérmica - Brasil	11
4.2.2. Energia Geotérmica - Países Referência	13
4.3. ENERGIA PIEZOELÉTRICA	14
4.3.1. Energia Piezoelétrica - Brasil	15
4.3.2. Energia Piezoelétrica - Países Referência	16
5.CONCLUSÃO.....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1.INTRODUÇÃO

Debates relacionados à emissão de poluentes e seus consequentes problemas atingem cada vez mais a escala mundial, de modo que muitos países buscam políticas para mitigação de prejuízos ambientais, dentre as quais pode-se incluir a ampliação do uso de fontes renováveis de energia. O Brasil é, sem dúvidas, referência no setor, visto que sua matriz energética o classifica como atual líder mundial na geração de energia elétrica renovável (DUTRA, et al. 2014). Entretanto, observa-se que a mesma matriz não é suficientemente diversificada e depende essencialmente da sua principal fonte, a hidrelétrica. Tal uniformidade traz sérias dificuldades, verificadas quando ocorrem grandes secas no país. Reforça-se, portanto, a necessidade de explorar as mais variadas fontes energéticas renováveis do país, com o objetivo de perpetuar o título adquirido por ele nas últimas décadas. Assim, apesar de estar em uma posição relativamente alta no quesito de energia limpa, o Brasil tem a necessidade de encontrar soluções energéticas confiáveis e economicamente viáveis (PEREIRA JR., et al. 2013), uma vez que a crescente demanda por energia gera um impacto grande em seu custo, sobretudo quando não é suprida totalmente pelas fontes menos onerosas. Nesse contexto, algumas opções são as energias Eólica, Geotérmica e Piezoelétrica, as quais se encontram em diferentes estágios de desenvolvimento e localidades ao redor do planeta, incluindo o Brasil, uma nação de proporções continentais.

2.OBJETIVOS

Baseando-se nas informações acima, este artigo tem por objetivo pesquisar e revisar o que a literatura já produziu sobre energias renováveis, tendo como foco as energias eólica, geotérmica e piezoelétrica, sob o escopo dos últimos dez anos. Nesse sentido, analisar o estado da arte dessas tecnologias e descrever de forma clara e objetiva suas principais características, situação de implementação e de pesquisa no Brasil, fazendo também um comparativo com países referência em cada tecnologia de obtenção de energia apresentada. Com isso, busca-se obter um panorama de qual estado se encontra a pesquisa em cada área e quais as possíveis tendências para o avanço da produção tecnológica e científica.

3.METODOLOGIA

Para a realização do presente artigo de revisão, buscou-se reunir informações de revistas, papers e artigos científicos contidos nas plataformas Google Acadêmico, Portal Periódicos Capes e ScienceDirect. Os termos relacionados às energias pesquisados foram, em suma, “Energia Piezoelétrica”, “Energia Eólica” e “Energia Geotérmica”, adicionando-se a eles outras palavras-chave como “Conceito”, “Brasil”, “Mundo” e “Energia Elétrica”, todos em português e inglês. Além disso, filtrou-se a pesquisa para obtenção de resultados dos últimos 10 anos de produção científica acerca dos assuntos.

Logo em seguida, cada uma das três energias foi descrita e analisada de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos: ocorrência e usos no Brasil e no mundo, nível de produção energética dos países, geração de eletricidade em cada local e potenciais aplicações futuras das energias. Por fim, com o intuito de verificar se o Brasil tem tomado o rumo correto no avanço das energias renováveis, comparou-se a situação do país com outros países referência nas energias propostas.

4.RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ENERGIA EÓLICA

A energia eólica consiste em aproveitar e transformar a energia cinética do vento, ou seja, o movimento e a força dele em energia elétrica. Tal fim é obtido por um sistema simplificado descrito por quatro elementos: Hélices, rotor, caixa de engrenagens e a turbina. O funcionamento decorre da seguinte maneira: as hélices, projetadas de maneira similar a uma asa de avião, conectam-se a um rotor que gira pelas diferentes pressões obtidas nela. Esse rotor, por possuir uma baixa rotação, passa por um sistema de engrenagens que, aproximadamente, aumenta a velocidade de 18 RPM para 1800 RPM, mudança necessária para possibilitar a produção de energia elétrica pelas turbinas (department of energy).

Os benefícios socioeconômicos e ambientais dessa modalidade de energia advêm do fato de ela ser renovável e causar baixo impacto nos locais da sua instalação e operação.

4.1.1. Energia eólica - Brasil

Em 2019, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), foram evitadas com a tecnologia emissões de 22,85 milhões de toneladas de gás carbônico. Fora tal benefício, há geração de renda e melhoria de vida para proprietários de terra com o pagamento de arrendamentos, que são tributados, para colocação das mais de 7 mil torres em operação. A produção coexiste com outras atividades e permite que o proprietário da terra siga com as atividades agropecuárias. Desse modo, também auxilia na permanência no campo e na capacitação de mão de obra local.

No Brasil, em virtude do clima tropical e de altitude, o grande potencial eólico tem despertado o interesse de vários fabricantes e representantes dos principais países envolvidos com energia eólica. As instalações já em operação mostram uma importante iniciativa tanto das concessionárias brasileiras, responsáveis pelos projetos experimentais, como das empresas autoprodutoras de energia que investem no desenvolvimento eólico para a geração de energia. Para o campo de desenvolvimento da energia eólica no Brasil, as figuras do autoprodutor e do

produtor independente são fundamentais na expansão desse setor, e na promoção de uma matriz energética sustentável (ALVES, 2010, p.1).

A principal forma do uso da energia eólica na atualidade se manifesta por meio da geração de energia elétrica alcançada devido à tecnologia de aerogeradores (CUNHA, 2017, p.2). No caso do Brasil, o aproveitamento dos recursos eólicos para geração elétrica também é um fenômeno recente, caracterizado por um boom no final da última década que ampliou a geração eólica anual de 663 GWh em 2007 para aproximadamente 33,5 TWh em 2016 (EPE, 2017, p.6). Durante o ano de 2015, essa modalidade energética foi a principal responsável (39,5%) pelo aumento da capacidade instalada no país (EPE, 2016, p.6).

Figurando atualmente entre os grandes produtores de energia eólica do planeta, o Brasil foi o país com a décima maior capacidade instalada (7,6 GW) em 2015 (IEA, 2017, p.7). O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (AMARANTE et al., 2001, p.7) destaca o grande potencial eólico do Nordeste, pioneiro do setor, que contém cerca de metade da potência disponível e contribui com a maior parte da produção nacional. O estado do Rio Grande do Norte liderou a produção de 2016, seguido por Bahia e Ceará.

Em um cenário otimista para o ano de 2050, Greenpeace Internacional e Conselho Europeu de Energia Renovável – EREC (2010) estimam que a participação da energia hidrelétrica na matriz brasileira diminuirá para 45,65%, sendo então a eólica responsável por 20,38% da oferta, seguida pela biomassa (16,6%) e a energia solar (9,26%). Essa transformação condiz com a busca pelo desenvolvimento sustentável, além de estimular o desenvolvimento de novas tecnologias e levar a eletricidade até localidades outrora sem acesso por meio de sistemas descentralizados (BASSO, 2017, p.8).

O preço da energia eólica no Brasil diminuiu progressivamente. Em 2011, segundo Elbia Silva Gannoum, atual presidente da Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeólica): “A energia eólica chegou ao seu grau máximo de competitividade, quando se tornou a segunda energia mais barata do Brasil” (CRAIDE, 2016, p.6). Outro depoimento taxativo de sucesso foi o da representante do Greenpeace, Larissa Rodrigues, ao afirmar que até então o debate sobre o custo elevado da energia eólica no Brasil era um mito, em virtude da eficiência conquistada

pela indústria nacional: “Há dez anos, quando se falava em energia eólica no país, era uma coisa de maluco, ninguém acreditava. Hoje em dia só se fala nisso” (RODRIGUES, 2016, p.6).

Após os primeiros anos de apoio, o BNDES alterou a metodologia de credenciamento até então adotada e passou a aplicar critérios específicos para o setor eólico em 2013. Os objetivos para essa mudança foram: incentivar maior conteúdo tecnológico a ser produzido no país, estabelecer regras uniformes e transparentes para todos os fabricantes, dinamizar a cadeia de fornecedores, atraindo empresas estrangeiras e nacionais, e gerar um maior número de empregos na indústria. Além de apresentar a importância da participação da geração eólica na matriz energética brasileira e do crescimento da indústria do setor, procurou-se realçar impactos socioambientais positivos e negativos observados a partir de 2004, para que esse setor pudesse continuar sua trajetória de colaboração para o desenvolvimento sustentável do país.

Essa progressão de leilões e parques instalados fez o Brasil alcançar, em 2016, 10,7 GW de capacidade instalada. No ranking de capacidade instalada de energia eólica, o país ocupou a nona posição neste ano, com participação de 2,2% do total da capacidade instalada mundial. Nesse ranking, a China se encontra na primeira posição, com 168,7 GW de capacidade instalada, correspondentes a 34,7% do total mundial (ABEEÓLICA, 2017). Na atualidade, a energia eólica é a fonte alternativa que vem apresentando o maior crescimento no país (GOUVÊA; SILVA, 2018, p.8).

4.1.2. Energia Eólica - Países Referência

Conforme os dados obtidos pelo Relatório de Status Global (2020) a energia eólica teve um ganho significativo na capacidade de produção: 10% a mais se comparado ao ano anterior (De 591 GW para 651 GW). O país que mais produziu e inovou foi a China, logo em seguida os Estados Unidos e, para finalizar o palco de destaque, o Reino Unido.

Atenta-se para o fato de que as divergências das políticas públicas e o preço de produção de uma turbina eólica, entre o Brasil e os países destaque são a principal causa para uma produção menor de energia eólica daquele.

Fazem partes dos países que atualmente disputam o pódio na inovação e implementação do sistema eólico a China, Estados Unidos e Alemanha. A China continua na liderança (CWEA, 2017), e apresenta uma política pública grandiosa para que a energia eólica alcance, até o fim do ano de 2020, 3% da demanda total na matriz energética nacional. Entretanto, desvantagens grandes apresentam-se na região: as áreas propícias para instalar as redes de turbinas situam-se ao norte, porém a demanda principal é disposta na região próxima ao Oceano Pacífico, ou seja, no sudeste. (CASTRO, N. et al, p.22).

O preço de instalação na China é relativamente próximo àquelas fontes já usadas (Carvão, Petróleo, Hidráulica etc.), valores que chegam próximos à casa dos US\$ 2.000,00 por kW instalado, enquanto que no Brasil, segundo as estimativas do GESEL, o valor se aproxima de US\$ 3.000,00. Todavia, como supracitado, o preço pago por MWh está cada vez menor em relação ao valor proposto pela hidroelétrica, dessa forma, o Brasil segue seu objetivo de aumentar e diversificar o portfólio nacional no ramo da geração de energia.

Diferentemente do Brasil, que possui e fortemente utiliza meios renováveis, a China gera a sua energia principalmente a partir do Carvão. Sendo assim, a variação entre os preços da energia até então convencional em cada país é grande. As tarifas *feed in* atualmente pagas na China variam entre US\$ 137,00 e US\$ 164,00 por MWh, enquanto que a tarifa paga a uma usina térmica movida à carvão é de US\$ 91,00 por MWh (CASTRO, N. et al, p.23).

E as diferenças continuam: no início da fomentação da indústria eólica na China pôde-se notar a massiva importação de hélices e turbinas, situação que mudou com o passar dos anos. Agora a produção centrou-se no próprio país, com quase 75% do *market share* sendo chinês. No lado Universitário e de pesquisa, a China investe relativamente pesado para aprimorar o seu desenvolvimento, a exemplo da província de Henan, que atraiu diversos olhares por construir a maior turbina eólica já vista no mundo com exatos 140 m de altura (CWEA, 2017).

4.2. ENERGIA GEOTÉRMICA

Define-se energia geotérmica como calor proveniente do interior da Terra, sendo ela uma fonte energética ambientalmente benigna. Pode ser encontrada em

rochas quentes nas profundezas da crosta terrestre e em reservatórios hidrotermais (MOYA et al, 2018, p.889).

Diferentemente de outras modalidades de energia, a Geotermia tem uma enorme gama de aplicações que vão além da produção de energia elétrica. De acordo com Souza Filho (2012, p.30), os recursos geotermiais podem ser classificados em baixa, média e alta entalpia e seus usos determinados a partir dessa classificação. Atividades de uso direto como aquecimento e arrefecimento de ambientes residenciais, recreativos ou industriais aproveitam fontes geotermiais de baixa e média entalpia. Já o uso indireto concentra-se nas usinas de geração de eletricidade, em geral com recursos de alta entalpia (acima de 150°C) utilizando o vapor retirado da água para girar as turbinas. Países com frequente movimentação tectônica, tal qual os Estados Unidos, apresentam grande produção de energia elétrica em usinas geotérmicas.

4.2.1. Energia Geotérmica - Brasil

Percebe-se que a situação do Brasil no mercado geotérmico mundial é definida, primeiramente, pelo fator endógeno. A escassez de recursos de alta entalpia no país se deve a baixa atividade tectônica recente na região central da placa Sul-Americana, resultando, conforme Vieira e Hamza (2019, p.47), em formações geológicas como bacias intracratônicas e nenhuma atividade vulcânica.

Ainda de acordo com Vieira e Hamza (2019, p.52), o Brasil apresenta recursos geotérmicos estimados em 1823.10^{21} J, o equivalente a 215 GJ/m² de território, valores intermediários se comparados aos do Chile, por exemplo, país este que situa-se na periferia da mesma placa e possui 577 GJ/m². Enquanto ao potencial aproveitado, os mesmos pesquisadores estimaram em 2015 a capacidade geotérmica instalada do Brasil em 365 MW e 6.540TJ de utilização durante o ano apenas em aplicações diretas, já que ainda não existem usinas geotérmicas no país.

Tais aplicações diretas do calor geotérmico são facilmente encontradas, principalmente com uso recreativo como em Caldas Novas (GO), Piratuba (SC), Araxá (MG), Olímpia, Águas de Lindóia e Águas de São Pedro (SP), mas também com uso industrial, a exemplo do bombeamento de água geotérmica de poços para produção

de café em Cornélio Procópio (PR) e do processamento da madeira em Taubaté (SP) (ARBOIT et al., 2013, p.159).

O já mencionado estudo feito por Hamza; Guimarães e Vieira em 2015 revela que os sistemas de fonte termal brasileiros se concentram, majoritariamente, nas regiões sul e centro-sul. Estimou-se, além disso, que as fontes voltadas para atividades recreativas e turísticas possuem capacidade térmica de 16 MWt e uso anual de energia de cerca de 189 TJ, enquanto que aquelas voltadas ao potencial industrial e aquecimento de ambientes têm capacidade térmica de 343 MWt e uso anual de energia de cerca de 6.291 TJ.

Em se tratando de uso indireto, mesmo que em condições ideais a instalação de usinas geotérmicas demande reservas de alta entalpia, é possível realizar tal empreitada em localidades do Brasil por meio do sistema binário de geração elétrica, já que, conforme Campos et al. (2017, p.14), esta tecnologia pode ser aplicada em fontes geotermiais de média e baixa entalpia.

Segundo El Haj Assad et al. (2017, p.2): “Em uma usina de energia geotérmica binária (ORC), o fluido geotérmico quente é direcionado para um trocador de calor (vaporizador) onde circula um líquido secundário de baixo ponto de ebulição e alta pressão de vapor. O processo de troca de calor entre o fluido geotérmico e o líquido secundário faz com que o líquido secundário vaporize e este vapor gerado é usado, então, para operar a turbina a fim de produzir eletricidade”.

Também podendo ser desenvolvido em similares condições geotérmicas, outro modelo possível é o sistema geotérmico aprimorado (*Enhanced Geothermal System* - EGS), o qual consiste na criação de poços subterrâneos artificiais pela injeção de água nas fraturas ou perfurações de rochas (MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2006, p.10). Outras possibilidades de produção de energia elétrica a partir da geotermia, como os tipos Flash de usina, podem ser exploradas no alinhamento vulcânico de Fernando de Noronha e Trindade, onde há potencial geotérmico de alta entalpia (HAMZA; VIEIRA; GUIMARÃES, 2015, p.1).

No que diz respeito ao potencial geotérmico do Brasil, uma proposta a ser explorada é a utilização de minas abandonadas para aquisição de energia geotérmica através de uma bomba de calor, de modo a aproveitar a perfuração já existente, evitando assim grande desperdício de investimento e maiores impactos ambientais (SOUZA, 2015). De maneira análoga, o aproveitamento de poços de petróleo abandonados com a mesma finalidade pode ser promissor, uma vez que deve-se

aprofundar a perfuração em apenas 10 ou 20 metros até chegar aos reservatórios de água (MONTENEGRO, 2019, p.70).

O cenário do mercado geotérmico brasileiro deve se alterar nos próximos anos, tendo em vista a inclusão da Geotermia Superficial, aquela que aproveita energia térmica do subsolo superficial, no Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 (2020, p.189).

4.2.2. Energia Geotérmica - Países Referência

O mercado internacional de energia geotérmica apresenta um alto crescimento e projetos de implantação sendo desenvolvidos em vários países. De acordo com o Relatório de Status Global (2019), em todo o mundo, a capacidade de uso direto de energia geotérmica aumentou significativamente de 2,2 GW em 2019, ou quase 8%, para uma estimativa de 30 GWth. O uso geotermal para aplicações térmicas cresceu de cerca de 10 TWh durante o ano para aproximados 117 TWh (421 PJ).

Entre os 10 principais países com maior estoque de capacidade de energia geotérmica, estão os Estados Unidos, Indonésia, Filipinas, Turquia, Nova Zelândia, México, Quênia, Itália, Islândia e Japão. Já os países com maior uso geotérmico direto (em ordem decrescente) em 2019 foram China, Turquia, Islândia e Japão, que juntos representaram cerca de 75% do total global. Sendo a China o maior usuário de calor geotérmico (47% do total) e o país com crescimento mais rápido, tendo aumentado seu uso em média mais de 20% ao ano nos últimos cinco anos.

Em alguns casos, a capacidade de geração efetiva (capacidade de funcionamento) pode ser inferior aos valores indicados, devido à fatores externos. Por exemplo, a capacidade de geração líquida efetiva nos Estados Unidos era de 2,5 GW no final de 2019, enquanto a capacidade bruta de geração do gerador era de 3,7 GW. Mesmo com baixo crescimento na capacidade de energia geotérmica instalada, os Estados Unidos continuam sendo líder global nessa questão. Em 2019, a capacidade geotérmica líquida do país expandiu em apenas 14,8 MW, elevando a capacidade operacional líquida total para 2,5 GW.

No que diz respeito à utilização deste recurso para fins diretos, Pálsson e outros (2013) destacam a diversidade de aplicações do recurso energético no mundo.

De acordo com os autores, 45% da energia geotérmica extraída é utilizada para calefação de ambientes, seguidos de 21% para banhos termais e 16% referente ao uso na agricultura. O restante divide-se entre a utilização na indústria, secagem e outros.

De acordo com GD Construções (2015) de toda a energia elétrica gerada na Islândia aproximadamente 30% advém de fontes geotérmicas. Além disso, o país também possui as mais acessíveis fontes geotérmicas no mundo e consegue reduzir entre 2,5 e 4 milhões de toneladas de CO₂ anualmente, com a utilização direta e indireta dessa fonte energética.

4.3. ENERGIA PIEZOELÉTRICA

Com o avanço tecnológico surgem novas formas para a obtenção de recursos energéticos. São elas fontes renováveis, limpas e que potencialmente reduzam o uso de energia provida de hidrelétrica, principal matriz energética do Brasil, que não polui, porém provoca grande prejuízo na fauna e flora do local (SILVA, 2010, p.3).

Dentre as alternativas, umas das opções viáveis seriam os chamados materiais piezoelétricos. No século XIX os irmãos Curie expuseram a possibilidade de converter esforços de compressão em materiais cristalinos, posteriormente chamados de materiais piezoelétricos, e transformá-los em uma diferença de potencial capaz de ser aproveitada em aparelhos elétricos. Os materiais com potencial de geração de energia encontrados com mais facilidade na natureza são: cristais de Quartzo, Óxido de Zinco, “PZTs” (Titanato Zirconato de Chumbo).

A piezoelectricidade é advinda do impacto de forças em certos materiais, os quais possuem propriedades em liberar elétrons em resposta à pressão mecânica. [...]. Para ser piezoelétrico é preciso que haja polarização, fazendo com que uma pequena deformação altere o volume da estrutura - o que faz com que os elétrons sejam expulsos (RABELLO, et al, 2015, p. 01).

Por ser um processo energético que não depende de combustíveis fósseis nem gera resíduos sólidos ou agentes poluentes, a piezoelectricidade vem recebendo grandes esforços de aperfeiçoamento por parte de alguns pesquisadores, tanto no Brasil como fora dele.

O termo piezoelectricidade provém do alfabeto grego e deriva da palavra “piezien”, que significa apertar/pressionar, aglutinando-se com a designação de

eletricidade de modo que interpreta-se “piezoeletricidade” como a conversão do movimento mecânico em eletricidade.

Dessa maneira, os materiais piezoelétricos podem ser, em um futuro próximo, parte integrante de um sistema de geração de energia elétrica. O aproveitamento da movimentação de pessoas e veículos motorizados para a geração de energia renovável e limpa é uma alternativa para aliviar as sobrecargas e possíveis perdas decorrentes do sistema convencional de distribuição, pois a fonte geradora estaria próxima do consumidor.

4.3.1. Energia Piezoelétrica - Brasil

No Brasil o sistema ainda é pouco explorado, mas pode vir a representar uma grande fonte de obtenção de energia limpa, renovável e rentável. De acordo com Mota (2014, p.102) “A partir do levantamento prévio de oportunidades foi possível constatar que, para a análise realizada, o retorno do investimento seria efetuado em menos de três anos, considerando um número de 1.300 domicílios no entorno dos 1 km de rodovia, produzindo durante a vida útil de projeto, um total de 25,514 GW”.

Em território nacional o físico Walter Katsumi Sakamoto em parceria com a química Maria Aparecida Zaghete Bertochi, ambos professores da Universidade Estadual Paulista (Unesp), esforçaram-se para a fabricação de um material filme com partículas nanométricas de cerâmica capazes de absorver os esforços mecânicos provocados pelo tráfego de veículos em uma avenida. Devido às pesquisas realizadas pela dupla de profissionais, foi possível analisar a viabilidade de células piezoelétricas no Município de Balsas, Maranhão. Situada no sul do estado, a cidade é reconhecida nacionalmente como polo do agronegócio, cortada por duas rodovias estaduais importantes - MA 006 e a MA 140 – que apresentam um grande fluxo de veículos pesados e retratam forte capacidade para implantação de dispositivos piezoelétricos.

Outro exemplo foi a parceria entre a empresa Shell com a Pavegen para a realização de uma reforma em um campo de futebol na cidade do Rio de Janeiro. Essa cooperação contribuiu para a instalação de 200 placas subterrâneas, as quais transformaram a energia cinética das pessoas que circulavam sobre as dependências onde foram instaladas essas unidades geradoras, em energia elétrica, e esta foi

suficiente para alimentar um circuito de painéis solares responsáveis por eletrizar os refletores do campo (SILVA, 2015, p.11).

4.3.2. Energia Piezoelétrica - Países Referência

A dependência de fontes fósseis de energia em todo o mundo conduziu a um investimento em novos vetores de energia (GONÇALVES, 2011, p.1). Com isso a energia renovável tem recebido uma crescente atenção nos últimos anos e a busca por fontes alternativas de energia segue em muitas frentes, em particular, estudos acerca do conceito de captação ou colheita de energia (Energy Harvesting) (LUO *et al.*, 2010, apud GONÇALVES, 2011).

Fora do Brasil, a França foi o primeiro país do mundo a testar materiais piezoelétricos nas ruas da cidade de Toulouse, de acordo com as autoridades locais, com oito placas piezoelétricas instaladas, de dimensões não especificadas, é possível produzir cerca de 480 watts de eletricidade. Na Inglaterra, há um supermercado que instalou placas piezoelétricas na entrada de seu estacionamento e que consegue produzir 30 kW/h com o tráfego dos automóveis.

A nova forma de captação de energia segundo Silva (2015,p.8), também, despertou os interesses em 2010 da multinacional israelense Innowattech, que realizou um experimento em um trecho de uma rodovia de 10 metros de comprimento com a utilização de geradores piezoelétricos de 5,5 cm de espessura, os quais foram inseridos em uma compacta camada asfáltica de 6 cm do nível superior da pista. O resultado produzido foi de 1kw/h nas duas vias da estrada, sendo os principais parâmetros analisados para obtenção desse cálculo a velocidade dos veículos, a frequência (1000 caminhões por hora com velocidade de 72km/h) e as condições físicas da autoestrada.

De acordo com Silva (2015, p.9) os cálculos apresentados pela empresa, uma frequência de 20 carros por minutos seria capaz de gerar 200 kw/h – energia suficiente para abastecer uma residência média por até um mês. O professor Haim Abramovich, fundador da organização, explica que em uma região com um fluxo de 1000 veículos por hora pode gerar aproximadamente 0,4 MW, sendo o suficiente para alimentar até 600 moradias.

Outro caso da utilização dessa tecnologia ocorre em uma estação de metrô, em Tóquio, no Japão: o piso da estação foi fabricado e contém partes de material piezelétrico, com a intenção de fornecer energia a letreiros luminosos e catracas eletrônicas (SILVEIRA, 2010, p.3). Além destas, é possível aplicar placas piezelétricas em pistas de aeroportos e trilhos de trem.

Contudo, embora já existam exemplos, a utilização dessa tecnologia ainda é limitada por não existirem baterias que permitam armazenar esta energia por um tempo razoável. Isso faz com que a instalação deva ser em regiões de consumo instantâneo, de modo que o material piezelétrico não fique ocioso por muito tempo (SILVA, 2015, p.10). Motivo esse que justifica a aplicação ainda em pequena escala da geração de energia piezoelétrica, evidenciando que ainda são necessários muitos estudos e pesquisas de modo a produzir dispositivos economicamente viáveis e eficientes.

Esses estudos ocorrem, em sua maioria, em países desenvolvidos e que buscam alternativas às fontes convencionais de energia, pode-se citar o Japão, China, França, Estados Unidos, Inglaterra e Alemanha como exemplos.

As pesquisas e desenvolvimento de materiais eficientes e baratos, dos quais transformam a energia mecânica resultado da pressão do peso e da velocidade sobre a superfície, transformando-a em eletricidade, também chamados de piezoeletricidade faz parte de uma corrida tecnológica entre os países desenvolvidos dos quais estão investindo pesado incluindo o Brasil, nessa concorrência mundial (ARMENDANI; FLORENTINO, 2016, p.2).

5.CONCLUSÃO

É nítida a importância dos recursos renováveis para a obtenção de energia limpa, cujo papel principal reside na redução dos impactos ambientais. Com os avanços tecnológicos e o crescimento populacional, a demanda energética tem aumentado consideravelmente. Para suprir essa necessidade, torna-se fundamental a busca de fontes alternativas e confiáveis. A energia eólica já é bem postada mundialmente, sendo implementada e desenvolvida com destaque em vários países. No Brasil, ela vem ganhando espaço cada vez mais, a fim de tornar a matriz energética brasileira mais diversificada e menos dependente de energias não sustentáveis e amplamente impactantes à natureza.

A energia geotérmica, assim como a eólica possui grande adesão mundial, e é muito conhecida por suas aplicações diretas em fontes termais, por exemplo, que já são bem difundidas no Brasil. Quanto a sua aplicação indireta, como forma de obtenção de energia elétrica, se configura como uma ótima alternativa renovável para os países ao redor do mundo, apesar de ainda estar limitada às altas entalpias. Em contrapartida, a energia piezoelétrica ainda se encontra em fase de pesquisas, havendo questões em relação ao seu armazenamento e uso, que, no momento, não estão totalmente solucionadas, tornando sua aplicação limitada ao Brasil e aos países considerados referência.

Diante disso, reitera-se que é imprescindível a existência de novos estudos e a continuidade daqueles já em curso acerca das fontes renováveis. O potencial brasileiro é imenso segundo as estimativas, e, se desenvolvido, será benéfico para todos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARBOIT, Nathana Karina Swarowski *et al.* **Potencialidade de utilização da energia geotérmica no Brasil – Uma revisão de Literatura.** Revista do Departamento de Geografia – USP, São Paulo, v.26, p.155-168, 2013. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/75194/78742>. Acesso em: 26 set. 2020.

ASSAD, Mamdouh El Haj; BANI-HANI, Ehab; KHALIL, Mohammed. **Performance of geothermal power plants (single, dual, and binary) to compensate for LHC-CERN power consumption: comparative study.** Geothermal Energy, [s. l.], v. 5, n 17, p. 1-16, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40517-017-0074-z> Acesso em: 28 set. 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de planejamento e desenvolvimento energético. **Plano Nacional de Energia 2050 - Tecnologias Disruptivas.** p.185-189, Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 27 set. 2020.

CAMPOS, Adriana Fiorotti *et al.* **Um panorama sobre a energia geotérmica no Brasil e no mundo: aspectos ambientais e econômicos.** Revista Espacios, [s. l.], v. 38, ed. 1, p. 8-25, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n01/a17v38n01p08.pdf>. Acesso em: 28 set. 2020.

CASTRO, Nivalde José de *et al.* **Perspectivas para a energia eólica no Brasil.** TDSE Texto de Discussão do Setor Elétrico, [s. l.], ed. 18, p.1-40, abr. 2010. Disponível em: http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/01_tdse18.pdf. Acesso em: 28 set. 2020.

CHINESE wind energy association CWEA. **2017 IEA wind TCP annual report.** [s. l.], 2017. Disponível em: <https://community.ieawind.org/about/member-activities/cwea>. Acesso em: 28 set. 2020.

DUTRA, Luciano *et al.* **Future scenarios and trends in energy generations in Brazil: supply and demand and mitigation forecasts.** Journal of Cleaner Production, [s. l.], ed. 103, p. 197-210, 2 out. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261401021X>. Acesso em: 24 set. 2020.

Encontro Internacional de Produção Científica Unicesumar, IX., 2015, Maringá. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2015. Tema: **Protótipo de cimento flexível com potencial elétrico.** Disponível em: <http://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/2678>. Acesso em: 29 set. 2020.

FILHO, Mario Nascimento Souza. **Avaliação do potencial geotérmico da bacia sedimentar de Taubaté.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP, p. 30, 2012. Disponível em:

<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/287613>. Acesso em: 26 set. 2020.

GONÇALVES, Tito Rafael da Silva. **Colheita piezoelétrica de energia**. 2011. Dissertação (Mestrado em Energias Renováveis - Conversão Elétrica e Utilização Sustentáveis) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, [S. l.], 2011. p. 77. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/5998/1/Goncalves_2011.pdf. Acesso em: 28 set. 2020.

GOUVÊA, Renato Luiz Proença de; SILVA, Paulo Azzi da. **Desenvolvimento do setor eólico no Brasil**. Revista BNDES, Rio de Janeiro, v. 25, ed. 49, p. 81-118, junho 2018.

GUIMARÃES, Suze; HAMZA, Valiya; VIEIRA, Fábio. **Updated Assessment of Geothermal Resources in Brazil**. [s. n.], [s. l.], p. 480-485, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1190/sbgf2015-095>

HAMZA, Valiya; VIEIRA, Fábio. **Assessment of Geothermal Resources of South America - A New Look**. International Journal of Terrestrial Heat Flow and Applied Geothermics [s. l.], v. 2, No. 1; p. 46-57, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.31214/ijthfa.v2i1.32>. Acesso em: 28 set. 2020.

LEITE, Djane Barbosa; SOUZA, Ênio Pereira de. **Tendências do cenário brasileiro: a energia de fonte eólica e o "olhar" dos atingidos**. Ciência e Natura, [s. l.], v. 37, p. 243-250, set. 2015. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=467546194022>. Acesso em: 27 set. 2020.

MONTENEGRO, Tulio Santana; JUNIOR, Marcos Antônio Costa. **Utilização de poços de petróleo abandonados para a produção de energia geotérmica**. Cadernos de Graduação: Ciências exatas e tecnologias, Alagoas, v. 5, ed. 3, p. 70, Novembro 2015. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/6045>. Acesso em: 29 set. 2020.

MOYA, Diego; ALDÁS, Clay; KAPARAJU, Prasad. **Geothermal energy: Power plant technology and direct heat applications**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, [s. l.], v. 94, p. 889-901, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118304830>. Acesso em: 02 out. 2020.

NYAMAYOKA, Lumbumba Taty-Etienne *et al.* **Feasibility study of embedded piezoelectric generator system on a highway for street lights electrification**. *Energy Procedia*, Shanghai, China, ed. 152, p. 1015-1020, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610218306544>. Acesso em: 28 set. 2020.

PESQUISA UNIFICADA. **Perguntas mais Frequentes sobre Energia Geotérmica**. Novembro 2018. Disponível em: <https://pesquisa-unificada.com.br/tecnologia/energias-renovaveis/perguntas-sobre-energia-geotermica/>. Acesso em: 5 out. 2020.

PIERCE, Erin; WOOD, Daniel. **How a Wind Turbine Works**. Department of energy, Junho 2014. Disponível em: <https://www.energy.gov/articles/how-wind-turbine-works>. Acesso em: 05 out. 2020.

RANGEL, Renato Franklin. **Caracterização de uma célula tubular piezoelétrica para a geração de energia elétrica**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Paraíba UFPB, [S. l.], 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5295/1/arquivototal.pdf>. Acesso em: 27 set. 2020.

Renewables 2020. **Global Status Report**. p.92-97, 2020. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf. Acesso em: 27 nov 2020.

ROCHA, Braulio Correa Costa de Azevedo. **Análise exergética de processos de produção geotérmica de potência**. 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. p. 142. Disponível em: <http://epqb.eq.ufrj.br/producao-cientifica/>. Acesso em: 29 set. 2020.

RODRIGUES, Tatiane Lucio. **Gerador de energia piezoelétrico**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) - Universidade de Brasília, [S. l.], 2017. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/20102/1/2017_TatianeLucioRodrigues.pdf. Acesso em: 28 set. 2020.

Seminário de Engenharia e Energia na Agricultura, II., 2017, Cascavel. **Aspectos históricos da energia eólica do Brasil e no mundo [...]**. Revista Brasileira de Energias Renováveis: [s. n.], 2019. v. 8. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/65759/38008>. Acesso em: 28 set. 2020.

SILVA, Fábio Soares Cardoso da *et al.* Sustentabilidade: Desafio 1 - Energia. *In*: SILVA, Fábio Soares Cardoso da *et al.* **Sustentabilidade: Desafio 1 - Energia**. 2020. Dissertação (Bacharelado em Economia) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, [S. l.], 2020. p. 41. Disponível em: <https://www.pucsp.br/sites/default/files/download/eventos/bisus/d1-energia.pdf>. Acesso em: 6 out. 2020.

SILVA, Sandra Sereide Ferreira da *et al.* **Energia eólica e complementaridade energética: estratégia e desafio para o desenvolvimento sustentável na região nordeste do Brasil**. Qualitas Revista Eletrônica ISSN, [s. l.], v. 19, ed. 3, p. 53-72, setembro 2018. Disponível em: <http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/issue/view/300>. Acesso em: 28 set. 2020.

SILVEIRA, Evanildo da. **Eletricidade do aperto: Pesquisadores desenvolvem material que gera energia elétrica quando pressionado**. Pesquisa FAPESP, [s. l.], ed. 171, 2010. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/eletricidade-do-aperto/>. Acesso em: 27 set. 2020.

SOUZA, Livia Maria Cruz Gonçalves de. **Potencialidade de aproveitamento das minas abandonadas para a geração de energia geotérmica no Brasil sobre o prisma gerencial de sustentabilidade**. Publica Direito, [s. l.], 2015. Disponível em:

<http://www.publicadireito.com.br/artigos/?cod=6d98e78fc02e40d3>. Acesso em: 29 set. 2020.

U.S. Department of Energy National Laboratory. **The future of geothermal energy: Impact of enhanced geothermal systems (EGS) on the United States in the 21st Century**. Idaho National Laboratory, [s. l.], p. 1-372, Novembro 2006. Disponível em: http://www1.eere.energy.gov/geothermal/egs_technology.html. Acesso em: 29 set. 2020.

YANG, Hailu *et al.* **A preliminary study on the highway piezoelectric power supply system**. International Journal of Pavement and Technology, [s. l.], v. 11, p. 168-175, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S199668141630195X>. Acesso em: 28 set. 2020.