

# ENGENHARIA, GESTÃO E INOVAÇÃO

ORGANIZADOR  
OSVALDO SENA GUIMARÃES

VOLUME

5



Editora Poisson



Osvaldo Sena Guimarães  
(Organizador)

# Engenharia, Gestão e Inovação

## Volume 5

1<sup>a</sup> Edição

Belo Horizonte  
Poisson  
2022

**Editor Chefe:** Dr. Darly Fernando Andrade

**Conselho Editorial**

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais

Msc. Davilson Eduardo Andrade

Dra. Elizângela de Jesus Oliveira – Universidade Federal do Amazonas

Msc. Fabiane dos Santos

Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia

Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC

Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

Msc. Valdiney Alves de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

E57

Engenharia, Gestão e Inovação – Volume 5/

Organizador: Osvaldo Sena Guimarães

– Belo Horizonte – MG: Poisson, 2022

Formato: PDF

ISBN: 978-65-5866-215-0

DOI: 10.36229/978-65-5866-215-0

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Engenharia 2. Educação.I. GUIMARÃES,  
Osvaldo Sena II. Título.

CDD-620

Sônia Márcia Soares de Moura – CRB 6/1896



O conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons 4.0.

Com ela é permitido compartilhar o livro, devendo ser dado o devido crédito, não podendo ser utilizado para fins comerciais e nem ser alterada.

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

# SUMÁRIO

**Capítulo 1:** Análise de ações de eficiência energética em sistemas de bombeamento no abastecimento de água em Bodoquena/MS..... 06

Ludmila Machado Rodrigues, Andréa Teresa Riccio Barbosa, Igor Moreno Mamedes

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.01

**Capítulo 2:** Desenvolvimento de uma interface interativa utilizando o ambiente GUIDE do MATLAB para obtenção do modelo "L" de transformadores monofásicos ..... 16

Filipe Carvalho de Andrade, Mikelly Bonfim Anjos, Rafael de Paula Lacerda Pio, Vinícius da Fonsêca Santos, Diego Habib Santos Nolasco, Leonardo Souza Caires

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.02

**Capítulo 3:** Inhibitory corrosion effect of sodium carboxymethyl cellulose on carbon steel in neutral sodium chloride medium..... 25

Guilherme Kusler Possani, Eduardo Luis Schneider, Lisete Cristine Scienza

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.03

**Capítulo 4:** Efeito do tíner no intumescimento da poliamida 6, polietileno de alta densidade e polipropileno ..... 32

Rubens Rodrigues de Sousa, Catia Fredericci

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.04

**Capítulo 5:** Adsorção de azul de metileno em carvão ativado sintetizado a partir de resíduos da indústria madeireira..... 48

Keivison Almeida Monteiro, Wdson Costa Santos, Mylena Junqueira Pinto Brito, Patricia Santos Amaral

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.05

**Capítulo 6:** Produção de álcool hidratado concentrado em escala piloto a partir de descartes de uísque ..... 56

João Bosco Cavalcante da Silva Segundo, Daniel Felipe Lima Soares, Josevan da Silva, Joselma Araújo de Amorim, Geraldo Dantas Silvestre Filho, Pierre Correa Martins

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.06

**Capítulo 7:** Estudo da recuperação do herbicida atrazina em águas naturais empregando Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) ..... 73

Pricília Santos Pereira Gomes, Luiza Maria Cerqueira Silva, Luciana Bagdeve de Oliveira dos Santos

**DOI:** 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.07

# SUMÁRIO

<b>Capítulo 8:</b> Correlação entre dureza Shore A e módulo de Young para materiais elastoméricos .....	88
Anselmo Pombeiro, Edemir Luiz Kowalski, Guilherme Rachelle Hernaski, Victor Salvino Borges, Rafael Pires Machado, Leandro Fontana Pires, Rodolfo Turek	
<b>DOI:</b> 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.08	
<b>Capítulo 9:</b> Avaliação da produção horária dos serviços de terraplenagem em uma Subestação Elevadora de Energia .....	93
Andreia Cardoso Alves	
<b>DOI:</b> 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.09	
<b>Capítulo 10:</b> The role of public agricultural research in the local wine production system in the Valley of São Francisco.....	114
Samuel Carvalho de Azevedo Marques	
<b>DOI:</b> 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.10	
<b>Capítulo 11:</b> A utilização de geotecnologias para a análise geográfica do espaço urbano no bairro Campestre do Menino Deus, Santa Maria - RS .....	120
Janderlei Velasque Dal Osto, Andressa Kossmann Ferla, Lucas Mauricio Willecker dos Santos	
<b>DOI:</b> 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.11	
<b>Capítulo 12:</b> Análise multiespacial do uso e cobertura da terra da Zona de Amortecimento do Parque Natural Municipal dos Morros em Santa Maria, RS .....	130
Lucas Mauricio Willecker dos Santos, Janderlei Velasque Dal Osto, Márlon Roxo Madeira, Andressa Kossmann Ferla	
<b>DOI:</b> 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.12	
<b>Capítulo 13:</b> Utilização de classificador <i>Maximum Likelihood</i> para detecção de mudanças na região da Usina Hidrelétrica de Belo Monte através de imagens Landsat-5 e Landsat-8 .....	139
Andressa Kossmann Ferla, Breno Magno Silva dos Santos, Kelly Cristina Pottratz Noronha, Janderlei Velasque Dal Osto, Lucas Mauricio Willecker dos Santos	
<b>DOI:</b> 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.13	
<b>Capítulo 14:</b> Inovação e empreendedorismo: Ideias para novos negócios .....	147
Fernando Henrique Lermen, Maria Cecilia Ferrari de Carvalho Teixeira, Nathalya Albina da Silva Pereira, Roselis Natalina Mazzuchetti	
<b>DOI:</b> 10.36229/978-65-5866-215-0.CAP.14	
<b>Autores:</b> .....	156

# Capítulo 1

*Análise de ações de eficiência energética em sistemas de bombeamento no abastecimento de água em Bodoquena/MS*

*Ludmila Machado Rodrigues*

*Andréa Teresa Riccio Barbosa*

*Igor Moreno Mamedes*

**Resumo:** Com a realização de estudos que visem encontrar soluções de eficiência energética em sistemas de bombeamento é possível reduzir, significativamente, os custos com energia elétrica nas companhias de abastecimento. Com esse objetivo este trabalho visa propor alternativas de diminuição dos custos de energia elétrica com bombeamento no sistema de abastecimento de água do município de Bodoquena – Mato Grosso do Sul. A metodologia aplicada foi do tipo estudo de caso, realizando uma pesquisa do sistema de bombeamento de água de todos os bairros em Bodoquena/MS, verificando um controle da operação e atendimento das demandas, analisando diversas simulações no software EPANET e pesquisando os custos de energia elétrica de bombeamento para os sistemas existentes. Para determinação da viabilidade da proposta será levado em consideração além da garantia da continuidade do abastecimento e a capacidade dos reservatórios, o custo energético, de modo a traçar uma rotina operacional mais eficiente e econômica. Os resultados mostraram que, em termos econômicos, o sistema com bombeamento direto para os reservatórios é mais caro, em virtude de o sistema requerer que as bombas funcionem 24 horas por dia.

**Palavras-chave:** sistemas de bombeamento, redução de custos, tarifas de energia.

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema de abastecimento de água consome entre dois a três por cento da energia do mundo, utilizando-a no bombeamento e tratamento de água para residências urbanas e industriais (USEPA, 1998). A preocupação na redução dos custos de bombeamento de água permitiu a introdução do conceito de políticas operacionais otimizadas para sistemas de abastecimento de água.

De acordo com Montenegro (2009), o conhecimento da eficiência do sistema de abastecimento, como também as decisões a serem tomadas com o objetivo de aumentá-la, depende do conhecimento e controle da operação do sistema como um todo.

Durante muito tempo o controle operacional de sistemas de abastecimento, por parte das empresas de saneamento, foi executado com o apoio de equipamentos de comunicação e, principalmente, da experiência da mão de obra encarregada do serviço.

Nos últimos anos surgiram softwares que vêm sendo aplicados, cada vez mais, para representarem os sistemas físicos e auxiliarem nas tomadas de decisão com o propósito de melhorar a eficiência da operação. Trata-se de modelos computacionais que representam o sistema de abastecimento como um todo e simulam sua operação ao longo do tempo.

O software EPANET foi concebido para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição de água para abastecimento urbano e permite obter valores de vazão, de pressão, do nível de água nos reservatórios e da concentração de elementos químicos ao longo da rede hidráulica, etc. O software auxilia na análise de alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade do sistema de abastecimento, em termos de quantidade e qualidade da água fornecida, assim como permite avaliar possíveis ações que possam diminuir o consumo de energia elétrica das estações de bombeamento (MONTENEGRO, 2009).

O objetivo do software EPANET é minimizar os custos de bombeamento, das bombas de Estações Elevatórias (EE) e de Estações de Tratamento de Água (ETA), durante o período de 24 horas, sob determinado esquema tarifário da concessionária de energia elétrica. Busca-se, também, atender as restrições de vazões, capacidades máxima e mínima dos reservatórios de distribuição, demanda, entre outros (FIRMINO, 2009).

A estrutura tarifária adotada pelas distribuidoras de energia elétrica, implementada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL no ano 2000, permitiu uma maior flexibilidade nas tarifas. Com a adequação do uso dos equipamentos na intenção de obter uma melhora na eficiência elétrica, as concessionárias de água puderam ajustar o funcionamento de suas bombas em horários cuja tarifa é menor, resultando assim em uma diminuição dos custos com energia elétrica.

Fazendo uma otimização da rede de abastecimento, com dados obtidos em campo e modelagens computacionais, é possível conseguir o uso mais eficiente do sistema de bombeamento. Com estas informações consegue-se a melhor adaptação às tarifas de energia, reavaliando os contratos existentes.

De acordo com TSUTIYA, é importante o conhecimento detalhado das características do sistema tarifário, que permite de forma praticamente imediata a redução nos custos de energia elétrica, pois decorre em uma cobrança mais adequada da energia elétrica de uma determinada instalação.

Este trabalho apresenta medidas de eficiência energética voltadas para sistemas de abastecimento de água, tendo como foco os sistemas de bombeamento. Em sistemas de abastecimento de água, o conjunto motobomba é o responsável pela maior parte do consumo energético, sendo, também, a maior oportunidade para ações de eficientização. O estudo da redução do custo energético em sistemas de bombeamento através de medidas de controle operacional deve buscar soluções que visem melhorar a eficiência energética e hidráulica dos sistemas de abastecimento de água urbano.

Dado o exposto, este trabalho tem como objetivo geral apresentar uma alternativa para o controle operacional que possa proporcionar uma maior eficiência energética e hidráulica no sistema de distribuição de água de todos os bairros da cidade de Bodoquena/MS, visando à redução dos custos de energia elétrica em sistemas de bombeamento.

## 1.1. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

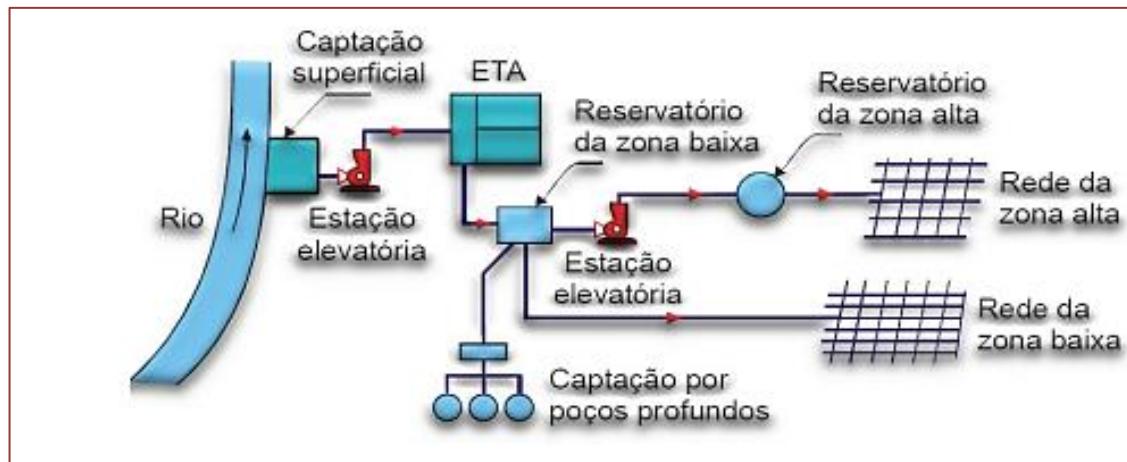
Define-se por sistema de abastecimento de água o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável a uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos. Essa água fornecida pelo sistema deverá ser, em quantidade suficiente e da melhor qualidade, do ponto de vista físico, químico e bacteriológico (NETTO et al., 1998).

Entende-se por Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) o conjunto de equipamentos, obras e serviços voltados para o suprimento de água a comunidades, para fins de consumo doméstico, industrial e público (Gomes, 2004).

A concepção e o dimensionamento de cada parte do sistema de abastecimento de água ocorrem de forma integrada, apesar de cada unidade variar em termos de projeto de engenharia tais como: porte da cidade, topografia, posição em relação aos mananciais entre outros. De um modo geral, os sistemas são constituídos das seguintes partes (Figura 1):

- Captação;
- Estação elevatória;
- Adutora;
- Estação de tratamento de água;
- Reservatório;
- Rede de distribuição.

**FIGURA 1:** Sistema de abastecimento de água com captação superficial e subterrânea



Fonte: TSUTIYA, 2005

Em alguns sistemas, há necessidade da utilização de estações elevatórias para que a água bruta do manancial possa ser transportada até a estação de tratamento, onde é tratada e, posteriormente, distribuída à população.

O objetivo principal do sistema de abastecimento de água é fornecer ao usuário uma água de boa qualidade para seu uso, quantidade adequada e pressão suficiente (TSUTIYA, 2005).

## **1.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

A eficiência energética em SAA mostra-se como uma grande oportunidade para redução de custos operacionais nas empresas do setor de saneamento.

No Brasil, estas empresas eram estatais e ainda conviviam com os vícios de uma época onde as empresas de distribuição de energia elétrica também eram estatais e não havia grande controle nos gastos com o insumo energia (NETO, 2008).

As empresas de saneamento começaram a ser cobradas por utilizar a energia de forma ineficiente (consumo excedente de energia reativa) ou pelo não cumprimento dos contratos de fornecimento de energia elétrica (ultrapassagem da demanda elétrica contratada).

Os primeiros passos rumo à eficiência energética nas empresas deste seguimento passaram por ações simples, sejam elas administrativas ou operacionais (NETO, 2008).

## **1.3. REDUÇÃO DE CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA EM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Os motores elétricos utilizados em estações elevatórias de água são responsáveis por cerca de 90 % das despesas com energia elétrica. O consumo de energia elétrica em SAA é de cerca de 0,6 kWh por m<sup>3</sup> de água produzida (TSUTIYA, 2005).

Segundo Tsutiya (2005), a implantação de medidas que possam reduzir os custos com energia elétrica é de suma importância para a viabilidade econômica das empresas que operam os sistemas de água e esgoto, pois o custo de energia elétrica tem sido cada vez mais elevado, principalmente devido à crise no setor energético.

Para reduzir o custo de energia elétrica em um sistema de abastecimento de água, há necessidade de se implementarem várias ações. O início é um diagnóstico do sistema existente, principalmente com a identificação dos pontos de uso excessivo de energia.

As principais ações para redução do custo de energia elétrica em sistemas abastecimento de água, dividida por fases (TSUTIYA, 2005):

- 1. Ações administrativas para a redução de custo de energia elétrica (1a fase):**
  - a. Regularização da demanda contratada;
  - b. Correção da classe de faturamento;
  - c. Alteração da estrutura tarifária;
  - d. Desativação das instalações sem utilização;
  - e. Conferência de leitura da conta de energia elétrica;
  - f. Entendimentos com as companhias energéticas para a redução de tarifas.
- 2. Ações operacionais para a redução de custo de energia elétrica (2a fase):**
  - a. Ajuste de equipamentos;
  - b. Diminuição da potência dos equipamentos;
  - c. Controle operacional;
  - d. Automação do sistema de abastecimento de água;
  - e. Alternativa para geração de energia elétrica.

## **2. METODOLOGIA**

A avaliação de eficientização da operação da reservação do sistema de abastecimento de água foi realizada em vários bairros da cidade de Bodoquena do estado Mato Grosso do Sul. Para tal, foi necessário pesquisar o sistema de bombeamento de água de todos os bairros em Bodoquena/MS, analisados os custos de energia elétrica para a situação existente.

- Analisar o sistema de bombeamento, a reservação atual, verificar o controle da operação e o atendimento das demandas de água;
- Diagnosticar a simulação do software EPANET 2.0 BRASIL, para comparar as diversas configurações;
- Pesquisar os custos de energia de bombeamento para os sistemas;

A partir da identificação das prováveis oportunidades de melhoria e eficientização do consumo de energia, foi necessário analisar os dados dos equipamentos responsáveis pelo consumo, bem como as formas que são operados pelos responsáveis do sistema. Os dados dos equipamentos foram obtidos no sistema CADOP – Cadastro Operacional da SANESUL.

As pesquisas foram realizadas no local entrevistas com os responsáveis pela operação do sistema, bem como o responsável pela manutenção eletromecânica e parametrização dos equipamentos. O conhecimento destas informações permitiu avaliar se a operação atual é a mais indicada do ponto de vista da eficiência energética.

### 3. RESULTADOS

O sistema de abastecimento urbano do município de Bodoquena é administrado pela Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul Sociedade Anônima – SANESUL (Sociedade de Economia Mista de capital aberto).

A cidade de Bodoquena está localizada no sul da região Centro-Oeste do Brasil, a oeste de Mato Grosso do Sul e próximo à fronteira com o Paraguai e Bolívia. Localiza-se a 251 km da capital estadual (Campo Grande/MS), sendo sua população de 7.875 habitantes, conforme estimativas do IBGE de 2019 (Figura 2).

**FIGURA 2:** Localização – Bodoquena/MS



Fonte: SANESUL - Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul (ano 2019).

A operação no SAA do município de Bodoquena/MS é realizada através de dois poços profundos de variadas vazões, que totalizam uma produção de 84,91 m<sup>3</sup>/h (poço BDQ-001= 24,99 m<sup>3</sup>/h e poço BDQ-006 = 59,92 m<sup>3</sup>/h) e que abastecem cerca de 2.871 ligações ativas.

O poço BDQ-001 (situado na rua Sebastião Raimundo de Barros, número 75), com a adutora de PVC (diâmetro de 100mm), com extensão de 685 metros interligada ao Reservatório Apoiado (RAP-001).

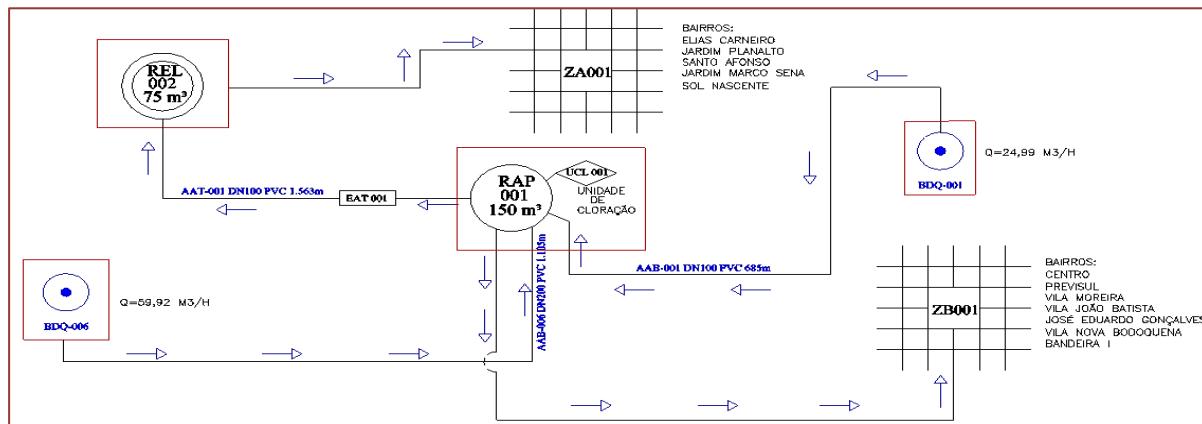
O poço BDQ-006 (situado na rua Nazário Costa Campo, s/n) com a adutora de DEFOFO (diâmetro de 200 mm), com extensão de 1105 metros interligada ao Reservatório Apoiado RAP-001.

O sistema de armazenamento de água tratada é composto de 02 reservatórios: um Reservatório Apoiado (RAP-001) de fibra de vidro com capacidade de 150 m<sup>3</sup> e um Reservatório Elevado (REL-002) de metal, tipo taça com capacidade de 75 m<sup>3</sup>.

Para o tratamento da água existe uma unidade de cloração (UCL-001) onde é aplicada solução de Hipoclorito de Cálcio através de bomba dosadora na entrada do RAP-001.

Do RAP-001 a água é recalcada pela bomba (EAT-001) para o REL-002 (situada na rua Juarez Atanazio de Souza, s/n). O REL-002 distribui para a parte alta da cidade e a parte baixa é atendida por gravidade pelo RAP-001. A extensão total da rede de água possui 42.397 metros de comprimento (Figura 3).

**FIGURA 3:** Croqui esquemático do sistema de abastecimento de água de Bodoquena/MS



Fonte: Operado pela empresa SANESUL

A demanda de potência é medida em kW e corresponde à média da potência elétrica solicitada pelo consumidor à empresa distribuidora, durante um intervalo de tempo especificado (normalmente 15 minutos) e é faturada pelo maior valor medido durante o período de fornecimento, normalmente de 30 dias. O consumo de energia é medido em KWh ou em MWh e corresponde ao valor acumulado pelo uso da potência elétrica disponibilizada ao consumidor ao longo de um período de consumo, normalmente de 30 dias.

Em termos de tarifação, é importante saber que a cobrança é realizada de forma diferente das contas residenciais. No caso estudado, há uma divisão entre a demanda e o consumo de energia, pois a contratação é em média tensão com enquadramento horário.

Para a constatação da redução do consumo de energia elétrica e da demanda utilizada com a parada das estações elevatórias em estudo no horário de ponta, foi realizado para quantificar o consumo e a demanda de energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta no período analisado, janeiro a dezembro de 2019 (Figura 4).

**FIGURA 4:** Tarifas e valores de consumo e demanda de energia elétrica

Bomba BDQ-001				Bomba BDQ-006				Bomba EAT-001						
Operação em Horário de Ponta				Operação em Horário de Ponta				Operação em Horário de Ponta						
Potência do motor	Rendimento	Demandas Calculadas		Potência do motor	Rendimento	Demandas Calculadas		Potência do motor	Rendimento	Demandas Calculadas				
10 CV	67%	10,98 kW		25 CV	60%	30,65 kW		7,6 CV	64%	8,73 kW				
Horário fora de ponta	Demandas Contratadas	10 kW		Horário fora de ponta	Demandas Contratadas	30 kW		Horário fora de ponta	Demandas Contratadas	5 kW				
	Consumo (8 h/dia)	2.989,57 kWh			Consumo (8 h/dia)	8.345,89 kWh			Consumo (5 h/dia)	1.448,15 kWh				
Horário de ponta	Demandas Contratadas	10 kW		Horário de ponta	Demandas Contratadas	30 kW		Horário de ponta	Demandas Contratadas	5 kW				
	Consumo (1 h/dia)	228,60 kWh			Consumo (1 h/dia)	638,17 kWh			Consumo (1 h/dia)	136,41 kWh				
Horária Azul				Horária Azul				Horária Azul						
Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Descrição	Medido	Faturado	Tarifa	Descrição	Medido	Faturado	Tarifa			
Energia Ativa				Energia Ativa				Energia Ativa						
Demandas F.Pta (kW)	10,98	10,00	10,8900	R\$ 108,90	Demandas F.Pta (kW)	30,65	30,00	10,8900	R\$ 326,70	Demandas F.Pta (kW)	8,73	5,00	10,8900	R\$ 54,45
Demandas Pta (kW)	10,98	10,00	34,1300	R\$ 341,30	Demandas Pta (kW)	30,65	30,00	34,1300	R\$ 1.023,90	Demandas Pta (kW)	8,73	5,00	34,1300	R\$ 170,65
Consumo F.Pta (kWh)	2.989,57	2.989,57	0,164060	R\$ 490,47	Consumo F.Pta (kWh)	8.345,89	8.345,89	0,164060	R\$ 1.369,23	Consumo F.Pta (kWh)	1.448,15	1.448,15	0,164060	R\$ 237,58
Consumo Pta (kWh)	228,60	228,60	0,252631	R\$ 57,75	Consumo Pta (kWh)	638,17	638,17	0,252631	R\$ 161,22	Consumo Pta (kWh)	136,41	136,41	0,252631	R\$ 34,46
FORNECIMENTO				TOTAL FORNECIMENTO				TOTAL FORNECIMENTO						
Impostos (O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)	ICMS	17,00%	R\$ 221,02	Impostos (O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)	ICMS	17,00%	R\$ 637,79	Impostos (O percentual de PIS/COFINS é variável a cada mês)	ICMS	17,00%	R\$ 110,06			
	PIS	1,10700%	R\$ 14,39		PIS	1,10700%	R\$ 41,53		PIS	1,10700%	R\$ 7,17			
	COFINS	5,10010%	R\$ 66,31		COFINS	5,10010%	R\$ 191,34		COFINS	5,10010%	R\$ 33,02			
Valor estimado com impostos*	R\$ 1.300,15			Valor estimado com impostos*	R\$ 3.751,71			Valor estimado com impostos*	R\$ 647,38					

Fonte: SANESUL

O consumo de energia no horário de ponta foi de 1003,17 KWh, 7% do total, e no horário fora de ponta 12783,62 KWh, representando 93% do consumo elétrico no período. A demanda utilizada pelas estações elevatórias totalizou 45 KW, tanto no horário de ponta como fora de ponta. A Tabela 1 apresenta os valores consumidos sem o desligamento dos conjuntos motor-bomba.

**TABELA 1:** Valores de consumo e demanda nos horários de ponta e fora de ponta sem desligamento das elevatórias

SETOR	CONSUMO		DEMANDA CONTRATADA (KW)
	FORA DE PONTA (kWh)	PONTA (kWh)	
Bomba BDQ-001	2989,57	228,60	10,00
Bomba BDQ-006	8345,89	638,17	30,00
Bomba EAT-001	1448,15	136,41	5,00
<b>TOTAL</b>	<b>12783,62</b>	<b>1003,17</b>	<b>45,00</b>

Fonte: SANESUL (2019).

Para o cálculo do custo de energia elétrica, foi realizada uma análise entre as tarifas de energia horo sazonal azul e horo sazonal verde, utilizando os valores de consumo elétrico durante o mês. Após a análise dos custos para cada elevatória, foi realizada a comparação entre o custo com o sistema tarifário em vigor, com as tarifas horo sazonais azul e verde. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

**TABELA 2:** Custo e verificação da redução de energia elétrica

SETOR	FATURA		REDUÇÃO DO CUSTO	
	AZUL (R\$)	VERDE (R\$)	AZUL (%)	VERDE (%)
Bomba BDQ-001	R\$ 1.300,15	R\$ 1.612,13	23,00%	23,00%
Bomba BDQ-006	R\$ 3.751,71	R\$ 4.534,38	66,00%	65,00%
Bomba EAT-001	R\$ 647,38	R\$ 825,86	11,00%	12,00%
<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 5.699,24</b>	<b>R\$ 6.972,36</b>	<b>45,00%</b>	<b>55,00%</b>

Fonte: SANESUL (2019)

A redução dos custos para o sistema em geral foi 45% utilizando a tarifa horo sazonal azul e 55% utilizando a tarifa horo sazonal verde, totalizando R\$ 5.699,24 e R\$ 6.972,36, respectivamente.

A empresa de água estabeleceu um critério de monitoramento mais efetivo, em que determinou a análise de todos os pontos de demanda com despesa mensal com energia acima de R\$ 15.000,00.

Nota-se que a busca pela redução destes custos impacta diretamente na qualidade dos serviços prestados pela concessionária dos serviços, pois os custos operacionais servem como base para determinar o valor da tarifa a ser paga pelos consumidores.

O SAA de Bodoquena, administrado pela regional de Aquidauana (empresa SANESUL). Segundo levantamento, a sua capacidade total de produção em 2019 foi de 789.570,35m<sup>3</sup> de água e consumo de energia de 203.051,36 KWh.

Na SANESUL utiliza-se o software EPANET 2.0 BRASIL para simular o comportamento hidráulico estático e dinâmico e de qualidade da água dos sistemas de distribuição de água pressurizados sujeitos a diversas condições operacionais, durante um determinado período de funcionamento. Dessa forma, possibilita a resolução do conjunto de equações não lineares que caracterizam os escoamentos sob pressão em um dado instante, especificamente as equações da continuidade, conservação de energia, resistência ao escoamento e a relação entre a vazão e a perda de carga. A Figura 5 representa a simulação do software EPANET do sistema de abastecimento de água de Bodoquena/MS.

Na simulação foi realizada um diagnóstico da configuração atual do sistema, onde analisou-se o atendimento da demanda, o levantamento das instalações e as condições de operação. Foi possível, dessa forma, comparar as diversas configurações pela simulação dos cálculos de vazões e cargas piezométricas ao longo da rede, tanto para diagnóstico do sistema existente como para a avaliação de alternativas.

Com modelagem da rede no EPANET, é possível os pontos com altas perdas de carga e eventuais alternativas para diminuições destas perdas, seja a partir da limpeza da tubulação atual ou eventual substituição em alguns pontos, conforme a necessidade.

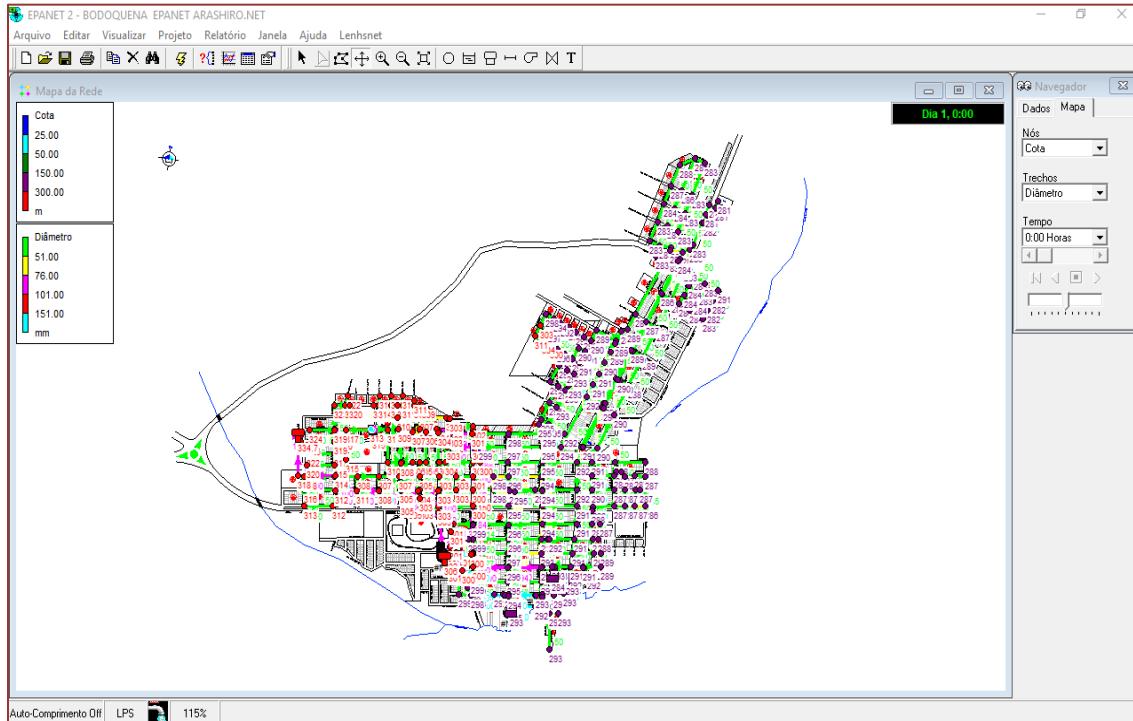
O sistema operacional é outro item a ser levado em consideração nos estudos de redução do consumo de energia elétrica. Muitas vezes o modo como o sistema é operado não é o mais adequado, exigindo o funcionamento de equipamentos em períodos desnecessários, com potências superiores, entre outros problemas. Isso ocorre devido, principalmente, ao uso de equipamentos inadequados ao sistema, adaptações ao aumento da demanda da rede sem o devido estudo e escassez de recursos financeiros para elaborações de projetos.

Uma alternativa, no caso da rede de abastecimento de Bodoquena, foi verificar se o uso do inversor de frequência melhoria no sistema operacional.

O inversor de frequência é um equipamento para o controle da velocidade de motores de indução trifásicos, o que gera uma economia de energia sem prejudicar a qualidade final do sistema.

A instalação de inversores de frequência é comumente realizada em redes onde o bombeamento é dirigido diretamente ao consumidor, como é o caso em Bodoquena/MS. Nesse tipo de sistema, é necessário manter constante a pressão na rede independentemente da demanda de água.

**FIGURA 5:** Simulação do software EPANET 2.0 BRASIL - Sistema de abastecimento de água de Bodoquena/MS



Fonte: SANESUL - Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul.

No projeto a bomba foi selecionada para atender a vazão máxima demandada. Entretanto, quando o sistema solicita uma vazão menor, é desnecessário aumentar a pressão e muitas vezes até uma pressão menor atenderia adequadamente o sistema com menor consumo de energia, que pode ser feito pela alteração do número de bombas operantes ou por alterações da curva característica da bomba, pela variação da rotação das bombas.

Foi importante analisar o custo de instalação do equipamento em relação à economia de energia obtida além de que o inversor gera harmônicas que fluem para o sistema elétrico da instalação e para a rede elétrica externa causando interferências com outros consumidores.

#### 4. CONCLUSÃO

A enorme demanda energética brasileira revela a necessidade e urgência de busca de soluções alternativas nos sistemas de saneamento que venham a diminuir o impacto ambiental neste sentido, bem como reduzir os custos elevadíssimos com energia na área.

Com base no levantamento de dados sobre a rede de abastecimento de água em Bodoquena/MS, foi possível realizar diversas simulações no programa EPANET, incluindo a situação atual com as demandas e das alternativas propostas.

Neste trabalho adotou-se o dimensionamento otimizado de redes de distribuição, que determina o dimensionamento ótimo dos sistemas e instalações, e o modelo de simulação EPANET. Posteriormente, foram calculados e avaliados os custos de implantação e operação das alternativas. A instalação de um inversor de frequência também foi recomendável para o caso estudado e tem sido frequentemente utilizado nas redes de abastecimento de água, tanto para reduzir os gastos com energia elétrica quanto para evitar problemas de sobre pressão nas redes. A instalação do inversor de frequência serviu como premissa para a análise das alternativas.

Os resultados obtidos mostraram que, em termos econômicos, o sistema com bombeamento direto para os reservatórios é mais caro, em virtude de o sistema requerer que as bombas funcionem 24 horas por dia.

O diagnóstico realizado foi possível determinar as possibilidades de redução na tarifação de energia. Isto foi obtido com intervenções que possibilitaram a redução de demanda de potência, trazendo redução dos custos com energia para a empresa, decorrentes de melhoria operacional com consequente adequação tarifária sem a necessidade de investimentos.

Com base nos resultados obtidos, são reforçadas as teorias anteriormente apresentadas, bem como aponta para a necessidade de que as companhias de saneamento capacitem seus profissionais nesse tipo de ação.

Com base no caso proposto, e através da sua análise e descrição dos resultados obtidos se mostram relevantes do ponto de vista das oportunidades de melhoria de desempenho operacional e gestão dos custos com energia. Recomenda-se que este critério seja aplicado em sistemas similares de outras companhias de saneamento.

## REFERÊNCIAS

- [1] GOMES, H. P.; Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes Elevatórias. Editora Universitária - UFPB. João Pessoa, 2004. 242p. 2<sup>a</sup> Edição.
- [2] FIRMINO, M. B. M.; ALBUQUERQUE, A. A.; CURI, W. F.; SILVA, N. C. (2006) Método de eficiência energética no bombeamento de água, via programação linear e inteira. VI SEREA - Seminário Ibero americano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água de Paraíba, João Pessoa - PB.
- [3] MONTENEGRO, L. L. B. (2009) Eficiência hidráulica e energética da operação do bombeamento para o abastecimento do bairro de Mangabeira em João Pessoa. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – Paraíba.
- [4] NETO, M. S. A. Medidas de Eficiência Energética em Serviços de Distribuição de Água e Saneamento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [5] NETTO, A. J. M; FERNANDEZ Y FERNANDEZ, M; ARAUJO, R.; ITO, A. E. Manual de hidráulica. 8<sup>a</sup> ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- [6] TSUTIYA, M. T. Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. São Paulo, 2005: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- [7] USEPA - Agência de Proteção Ambiental dos EUA (1998) “Apêndice A: Medidas de Conservação de Água. Guia de Planos para Conservação de Água Tratada”. Washington D.C. Agosto.

# Capítulo 2

*Desenvolvimento de uma interface interativa utilizando o ambiente GUIDE do MATLAB para obtenção do modelo "L" de transformadores monofásicos*

*Filipe Carvalho de Andrade  
Mikelly Bonfim Anjos  
Rafael de Paula Lacerda Pio  
Vinícius da Fonsêca Santos  
Diego Habib Santos Nolasco  
Leonardo Souza Caires*

**Resumo:** O presente trabalho apresenta o projeto de uma interface gráfica para o estudo de transformadores monofásicos no âmbito do ensino da disciplina de Conversão Eletromecânica do curso de graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia (IFBA). A interface foi elaborada a partir do ambiente GUIDE (*Graphical User Interface Development Environment*) do MATLAB aplicando os conteúdos abordados no estudo da disciplina. O objetivo desta interface é fornecer uma ferramenta que realize os cálculos para encontrar o modelo L equivalente de um transformador monofásico a partir dos ensaios a vazio e em curto circuito. Ademais, essa ferramenta atua de modo a facilitar o entendimento dos estudantes e, de maneira interativa, realiza todo processo de cálculo permitindo encontrar os valores numéricos das variáveis do modelo L do transformador.

**Palavras-Chave:** Transformador Monofásico, GUIDE, MATLAB.

## 1. INTRODUÇÃO

A priori, em meados de 1831 o físico-químico britânico Michael Faraday descobriu em seus estudos o fenômeno físico da indução eletromagnética que posteriormente seria utilizado para a fabricação de transformadores. Nesse sentido, segundo [Fitzgerald e Kingsley 2014], o princípio de funcionamento de um transformador monofásico se dá a partir da indução mútua entre duas ou mais bobinas acopladas por um material ferromagnético. Conforme [Halliday e Resnick 2016], atualmente os transformadores tem como principal objetivo atuar na linha de transmissão para diminuir as perdas ôhmicas da linha. Outra aplicação para os transformadores é sua utilização em dispositivos e instalações elétricas, operando como transformador elevador, abaixador ou isolador, e em circuitos conversores que além de serem úteis para controlar os níveis de tensão, também atuam como isoladores para eliminar ruído.

Antes da utilização de qualquer tipo de máquina elétrica é indispensável a realização de ensaios, de modo a garantir o seu funcionamento adequado e obter os seus parâmetros. Em transformadores de potência, os ensaios estão previstos nas normativas brasileiras e possuem diferentes objetivos, segundo [Carvalho 2011]: "Os ensaios permitem dar dimensões as variáveis definidas no modelo do transformador real".

A fim de identificar as perdas ( $P_{cc}$ ), a resistência ôhmica ( $R_{cc}$ ) e a reatância de dispersão ( $X_{cc}$ ) equivalente dos enrolamentos realiza-se o ensaio em curto circuito. Durante esse ensaio efetua-se as medidas dos seguintes dados, potência de curto circuito ( $P_{cc}$ ), tensão de curto circuito ( $V_{cc}$ ) e corrente de curto circuito ( $I_{cc}$ ). Não obstante, com o ensaio à vazia determina-se os parâmetros do ramo de magnetização ( $R_c$  e  $X_m$ ) graças a tensão de circuito aberto ( $V_{ca}$ ), corrente de circuito aberto ( $I_{ca}$ ) e potência de circuito aberto ( $P_{ca}$ ).

Mediante o exposto, muito se sabe que nesse período da modernidade, conhecido como indústria 4.0, a automatização de processos é um fator indispensável. Portanto, tendo em vista esse aspecto, a presente proposta tem a iniciativa de elaborar uma *Graphical User Interface* (GUIDE) via MATLAB, com a finalidade de se realizar os cálculos de obtenção das variáveis de maneira automática e de modo a compor o modelo "L", a partir dos dados obtidos de corrente, tensão e potência nos ensaios de curto circuito e circuito aberto. Salienta-se que a interface elaborada destina-se à fins acadêmicos, isentando aos autores de uma possível cópia utilizada para outros fins.

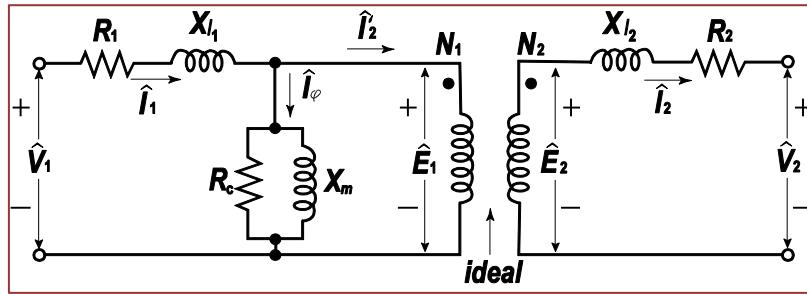
## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### A. CARACTERÍSTICAS DO TRANSFORMADOR MONOFÁSICO

Transformadores monofásicos são aqueles que possuem na sua composição apenas um conjunto de bobinas de alta e de baixa tensão, envolvidos a um núcleo. Desta forma, o funcionamento por meio da aplicação de uma tensão alternada nos terminais do lado primário, ocorre a variação do campo magnético nas espiras do enrolamento da bobina secundário, o que proporciona uma tensão induzida nos terminais do lado secundário, proporcional a dimensão do núcleo utilizado, em conjunto com a relação de espiras entre os enrolamentos de alta e de baixa, podendo assim estabelecer a tensão e corrente, respectivamente.

### B. TRANSFORMADOR REAL

Ainda em concordância com [Fitzgerald e Kingsley 2014], a modelagem físicamatemática de um transformador pode ser dada através de um circuito como demonstra a Figura 1. Nessa modelagem, são consideradas as resistências das bobinas ( $R_1$ ;  $R_2$ ), reatâncias de dispersão ( $X_11$ ;  $X_12$ ), resistência do núcleo ( $R_c$ ) e reatância de magnetização ( $X_m$ ).

**Figura 1:** Modelo real de um transformador

Fonte: Elaborado pelos autores.

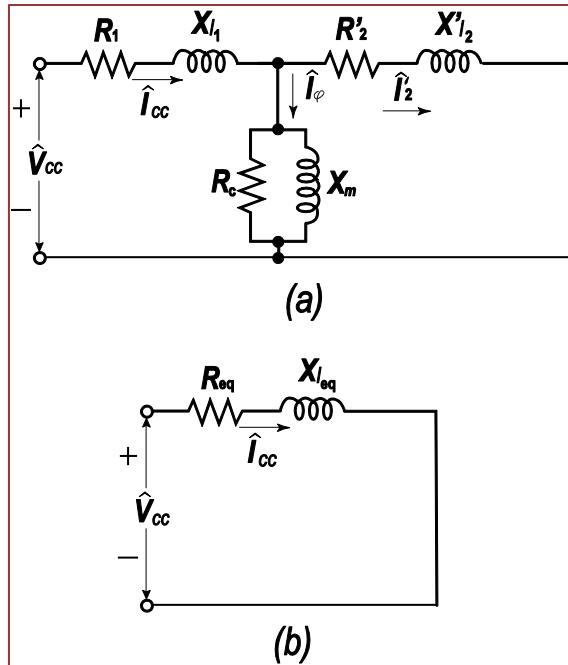
- $V_1$  = Tensão dos terminais do primário;
- $I_1$  = Corrente no primário;
- $E_1$  = Força eletromotriz do primário;
- $I\varphi$  = Corrente de excitação;
- $E_2$  = Força eletromotriz do secundário;
- $V_2$  = Tensão dos terminais do secundário;
- $I'2$  = Corrente refletida do secundário;
- $I_2$  = Corrente no secundário.

A NBR 5356-1 [ABNT 2007] prevê como deve ocorrer a realização dos ensaios em transformadores monofásicos de potência. No ensaio de curto circuito, aplica-se uma tensão nos terminais de um enrolamento do transformador enquanto curto circuítia os terminais do outro enrolamento, desse modo com o auxílio do voltímetro, amperímetro e wattímetro é possível designar a tensão, corrente e potência de curto circuito. Por outro lado, no ensaio à vazio aplica-se uma tensão nos terminais do enrolamento transformador enquanto os terminais do outro enrolamento ficam em aberto, desse modo com o auxílio do voltímetro, amperímetro e wattímetro designamos a tensão, corrente e potência de circuito aberto.

### C. ENSAIO DE CURTO CIRCUITO

A Figura 2 (a) representa o modelo do circuito utilizado no ensaio em curto circuito, como a impedância do ramo de magnetização geralmente é muito alta, quando comparada a impedância dos enrolamentos, é possível desprezar os efeitos da corrente de excitação ( $I\varphi$ ) e considerar  $I_{cc}$  aproximadamente igual a  $I'2$ . Sendo assim, neste ensaio, pode-se utilizar a representação da Figura 2 (b).

**Figura 2:** Circuito do ensaio de curto circuito. (a) Parâmetros referidos ao lado primário. (b) Aproximação desprezando o ramo de magnetização



Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir da análise do circuito da Figura 2 (b), e da tensão ( $V_{cc}$ ), corrente ( $I_{cc}$ ) e potência ( $P_{cc}$ ) de curto circuito determina-se as equações características de curto circuito:

$$|Z_{cc}| = |Z_{eq}| = \frac{V_{cc}}{I_{cc}} \quad (1)$$

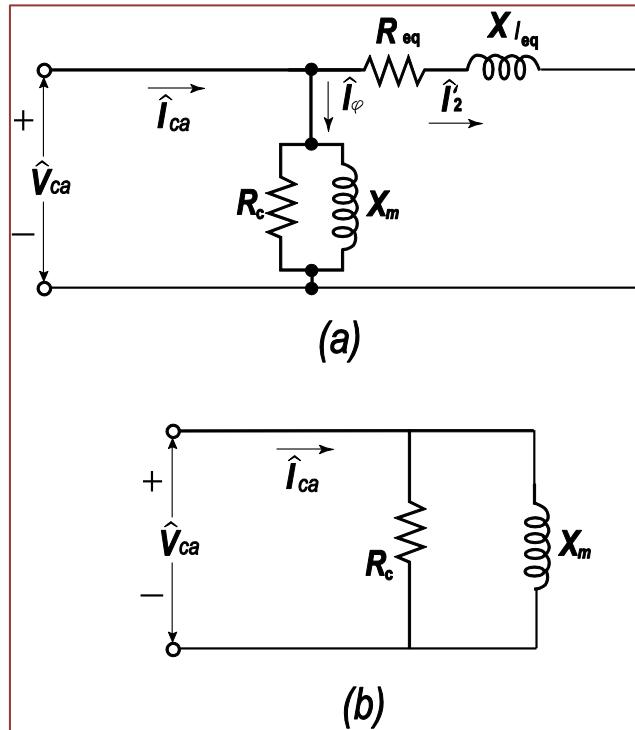
$$R_{cc} = R_{eq} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}} \quad (2)$$

$$X_{cc} = X_{eq} = \frac{P_{cc}}{I_{cc}^2} \quad (3)$$

#### D. ENSAIO DE CIRCUITO ABERTO

A Figura 3 representa o modelo do circuito utilizado no ensaio de circuito aberto, vale ressaltar que para esse ensaio, através de uma aproximação do divisor de corrente, a tensão aplicada se concentra no ramo de magnetização já que possui maior impedância em relação as impedâncias em série referidas ao primário.

**Figura 3:** Circuito do ensaio de circuito aberto. (a) Parâmetros referidos ao primário. (b) Aproximação desprezando impedância em série ( $R_{eq} + X_{eq}$ )



Fonte: Elaborado pelos autores.

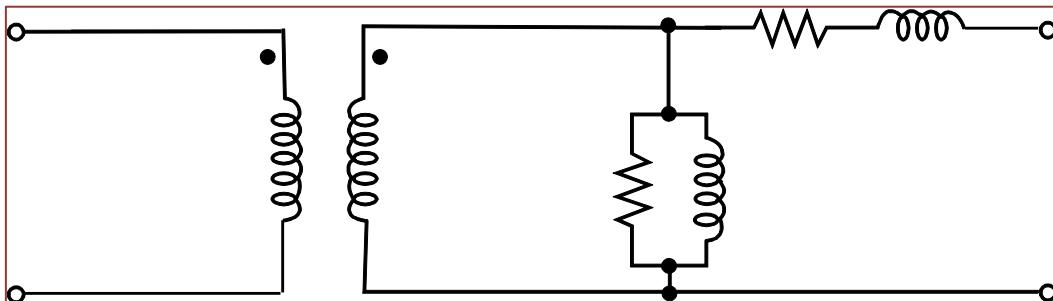
A partir da análise do circuito da Figura 2 (b), e da tensão ( $V_{ca}$ ), corrente ( $I_{ca}$ ) e potência ( $P_{ca}$ ) de curto circuito determina-se as equações características do ensaio de curto circuito:

$$|Z_{ca}| = |Z_\varphi| = \frac{V_{ca}}{I_{ca}} \quad (4)$$

$$R_c = \frac{V_{ca}^2}{I_{ca}} \quad (5)$$

$$X_m = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{Z_\varphi} - \frac{1}{R_c}}} \quad (6)$$

A partir das equações 1, 2 e 3, deduzidas da Figura 2 é possível obter os valores da resistência equivalente dos enrolamentos ( $R_{eq}$ ) e da reatância de dispersão equivalente dos enrolamentos ( $X_{eq}$ ) referidas para o lado escolhido no ensaio. Já os valores da resistência do núcleo ( $R_c$ ) e da reatância de magnetização ( $X_m$ ) são calculadas com base nas equações 4, 5 e 6 deduzidas do circuito da Figura 3. Por fim, após reflexões de alguns termos, através dos parâmetros obtidos nos ensaios, é possível determinar todos os valores do modelo "L" de um transformador refletidos para o lado do primário ou para o lado do secundário escolhido.

**Figura 4:** Modelo "L" de um transformador monofásico

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em suma as impedâncias obtidas no modelo "L" dependem da potência, corrente e tensão de curto circuito e circuito aberto, possibilitando então serem calculadas por esses parâmetros. Por isso, muitos softwares podem ser criados visando obter as impedâncias do modelo "L" de um transformador monofásico a partir dos dados de entrada dos ensaios de curto circuito e circuito aberto (corrente, tensão e potência).

#### E. MATrix LABoratory - MATLAB

MATLAB é o nome abreviado de “MATrix LABoratory” que é um programa para realizar cálculos numéricos com vetores e matrizes voltados para tecnologia científica e engenharia. É amplamente utilizado devido a sua popularidade, consagrada por modos de operação iterativos, programação simplificada, funções pré-estabelecidas, facilidades gráficas e um espaço de trabalho embutido com um depurador de informações.

Na engenharia, o uso de ferramentas e softwares com interfaces gráficas é amplamente utilizado em diversos tipos de simulação. Neste trabalho foi utilizada uma ferramenta do MATLAB para desenvolver um modelo de Transformador Monofásico que permita a interação entre o aluno e os cálculos relacionados aos ensaios com transformadores monofásicos.

Esse software foi escolhido por permitir a utilização de funções que levariam um maior período para serem desenvolvidas em outras linguagens de programação. Além disso a existência de diversas bibliotecas (*toolboxes*) que podem ser usadas para diferentes áreas, facilitando de forma expressiva o desenvolvimento de programas no software.

#### F. GUI's - GRAPHICAL USER INTERFACES

O MATLAB possui uma ferramenta que permite construir interfaces gráficas de interação com o utilizador, o GUI's, um ambiente de desenvolvimento de interface gráfica ao usuário que permite a criação de aplicativos personalizados ao projetar graficamente uma interface proposta.

De acordo com [MathWorks 2022] o GUI's - *Graphical user interfaces* é um programa de alto nível que cria por meio de uma interface gráfica, um ambiente iterativo para facilitar a utilização do software MATLAB. Eliminando a necessidade do conhecimento prévio da linguagem e comandos do software, além de permitir que as interações entre os blocos selecionados no editor de design sejam feitas de acordo com um comportamento selecionado, tal característica amplia extensamente o alcance dessa aplicação.

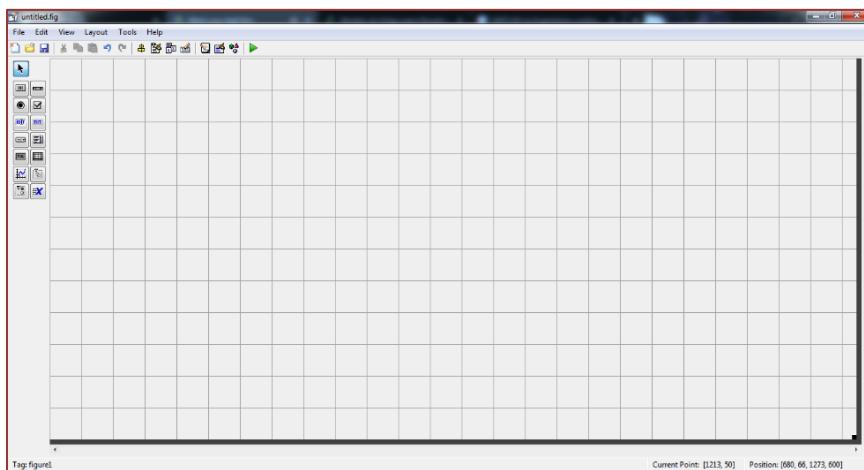
#### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido em três etapas, sendo que estas foram baseadas em pesquisas, simulações, desenvolvimento da interface, e testes. As pesquisas foram feitas através do levantamento bibliográfico referente ao tema. E as simulações e desenvolvimento da plataforma foram feitas utilizando o software MATLAB. Posteriormente são apresentadas as etapas de elaboração e confecção do projeto.

A primeira etapa é composta pela revisão bibliográfica sobre o tema proposto, realizada a partir de fontes literárias, artigos e projetos referentes ao tema. Estudou-se o funcionamento dos transformadores monofásicos e os ensaios a vazio e em curto-circuito, tendo como base dados experimentais dos respectivos ensaios comparados aos dados bibliográficos.

Na segunda etapa foi projetada a interface gráfica do MATLAB. Neste trabalho foi utilizado o ambiente GUI's devido a sua maior simplicidade, pois o fluxo do código é guiado por indicações externas chamadas de eventos. A Figura 5 apresenta a interface do usuário utilizada.

**Figura 5:** Interface utilizada - GUI's



Através dessa interface, é possível inserir os valores desejados de potência, frequência e tensão no primário e no secundário referentes a placa do transformador, e os parâmetros de tensão, corrente e potência a vazio em curto circuito respectivamente. Essas informações possibilitam a realização dos cálculos necessários para determinar o modelo equivalente de transformador monofásico. A terceira e última etapa constituiu-se da obtenção dos resultados finais, sendo analisados os dados experimentais estudados comparados aos dados obtidos através da plataforma, para assim determinar se o desempenho da plataforma seria viável e condizente com o esperado.

#### 4. DESENVOLVIMENTO

Foi utilizado o GUI's para criar uma interface gráfica no MATLAB que realize o cálculo dos parâmetros de um transformador monofásico. Durante a elaboração do ambiente iterativo foi prezado a intuitividade e eficiência, afim de gerar uma melhor experiência aos usuários. Primeiramente, foi desenvolvido a parte inicial do programa, Figura 6, responsável pela coleta dos dados referentes as grandezas do transformador, tal como os dados obtidos nos ensaios de curto circuito e no ensaio a vazio. Para fins de teste, foram utilizados os valores da tabela I, retirados do [Fitzgerald e Kingsley 2014], que apresenta os dados relativos ao transformador, tal qual aos ensaios de curto circuito e circuito aberto.

**TABELA I:** Valores dos Ensaios

Ensaio	Tensão (V)	Corrente (A)	Potência (W)
Círculo aberto	240	1,37	139
Curto-circuito	67,8	10,1	174

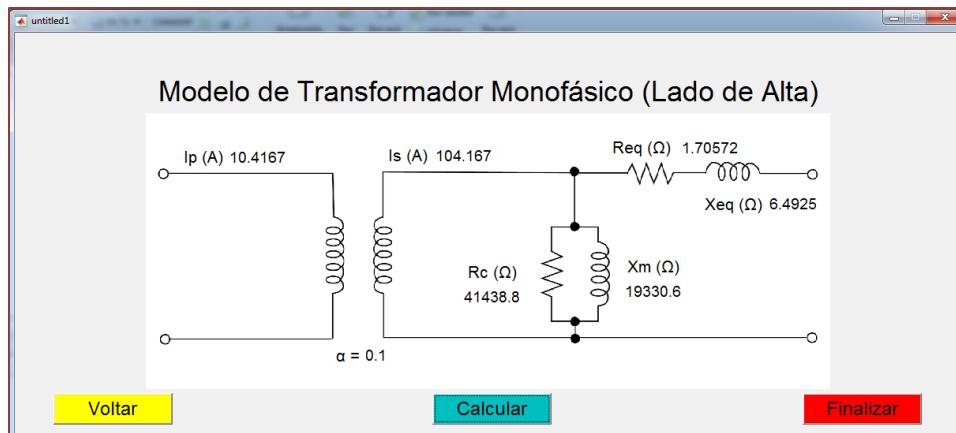
Ademais, o ambiente interativo possibilita a realização do levantamento do modelo "L" (referido para o lado de alta tensão) de maneira rápida, onde o usuário pode realizar o carregamento dos valores de diferentes transformadores e seus respectivos ensaios e obterem os cálculos de modo dinâmico.

**Figura 6:** Página inicial gerada pelo GUI's



Após essa etapa, foi desenvolvida uma programação para que quando pressionado o botão calcular a pagina referente a Figura 6 seja fechada e que a pagina referente a Figura 7 seja inicializada.

**Figura 7:** Indicadores do transformador gerada pelo GUI's



Ao pressionar novamente o botão "Calcular", é realizado o ambiente interativo do programa realiza o preenchimento dos valores das variáveis  $Req$ ,  $Xeq$ ,  $Rc$  e  $Xmag$ . Esses valores foram programados para estarem referidos para o lado de alta tensão do transformador. A Tabela I apresenta os dados relativos aos ensaios que foram escolhidos para comparação e retirados do [Fitzgerald e Kingsley 2014]. Em todas as etapas do processo existe um botão em vermelho "Finalizar", que como o próprio nome já indica encerra a aplicação.

## 5. CONCLUSÕES

Analizando os fatos expostos, pode-se concluir que mediante ao assunto discutido é notável a importância de uma plataforma didática e interativa, a qual auxilia no aprendizado do estudo aos transformadores, e pela sua estrutura minimalista e intuitiva, torna-se acessível para um público maior. Os valores obtidos por meio do GUIDE desenvolvido estão condizentes com a teoria, visto que pela quantidade de casas significativas utilizadas no cálculo por meio do software o erro se torna desconsiderável. Portanto, é possível afirmar que o presente trabalho tem o potencial de ser amplamente utilizado, de forma didática, com a finalidade de comprovar computacionalmente a validade dos resultados encontrados por meio de ensaios em transformadores monofásicos, sendo eles em circuito aberto e curto circuito.

## REFERÊNCIAS

- [1] [ABNT 2007] ABNT, A. d. N. T. B. *NBR 5356- 1:Transformadores de potência.* [S.l.: s.n.], 2007.
- [2] [Carvalho 2011] CARVALHO, G. Máquinas elétricas teoria e ensaios. v. 4, 2011.
- [3] [Fitzgerald e Kingsley 2014] FITZGERALD, F. S. K.; KINGSLEY, C. Máquinas elétricas. v. 7, 2014.
- [4] [Halliday e Resnick 2016] HALLIDAY, D.; RESNICK, R. Fundamentos de física: Eletromagnetismo. v. 3, 2016.
- [5] [MathWorks 2022] MATHWORKS, T. GUI do MATLAB. 2022. Disponível em:  
<<https://www.mathworks.com/discovery/matlabgui.html>>.

# Capítulo 3

## *Inhibitory corrosion effect of sodium carboxymethyl cellulose on carbon steel in neutral sodium chloride medium*

*Guilherme Kusler Possani*

*Eduardo Luis Schneider*

*Lisete Cristine Scienza*

**Abstract:** The use of inhibitors is one of the most practical methods for protection metal against corrosion, especially in saline media. Among various corrosion inhibitors, there is great interest in replacing harmful inhibitors with effective non-hazardous compounds, called "green inhibitors". This work investigated the inhibitive action of sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC), an ecofriendly natural polymer, on the corrosion of carbon steel (CS) in neutral sodium chloride medium. Different concentrations of Na-CMC were added to 0.1 mol/L NaCl solution and investigated through open circuit potential (OCP) measurements, potentiodynamic polarization curves (PDP) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) techniques. The obtained results indicated that the examined compound is a mixed-type corrosion inhibitor and its inhibition efficiency increases with increasing the inhibitor concentration. In general, Na-CMC has shown poor inhibition efficiency for mild steel in corrosive medium in concentrations up to 200 mg/L, getting the highest performance ( $\eta_{\text{eff}} > 42\%$ ) for 400 mg/L of the inhibitor.

**Keywords:** Corrosion, green inhibitor, sodium carboxymethyl cellulose, carbon steel.

## 1. INTRODUCTION

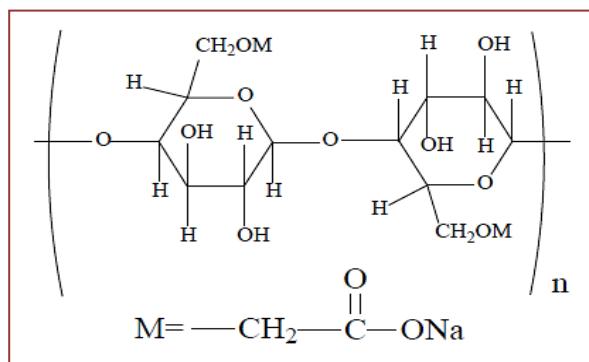
Carbon steel has wide applications in the industry and domestic life for several purposes. Its huge usage can be attributed to its properties which include hardness, durability, ductility, low cost and hardiness. However, it is highly susceptible to corrosion by exposure to environment, limiting its end-use [1]. To improve the protective efficiency of carbon steel against corrosion in aggressive media different techniques can be used, which include material modification, alteration of the surrounding environment, use of surface coatings, cathodic protection and use of corrosion inhibitors. The use of inhibitors to minimize the effect of corrosion is a popular corrosion control scheme widely accepted in industries [2].

An inhibitor is a substance (natural or synthetic) that is added in a small quantity in a corrosive environment with a purpose to retard corrosion reaction. Synthetic corrosion inhibitors are applicable on a large scale, however their high cost, maintenance, environmental and human health concerns have stimulate search for alternative inhibitors, those that would be eco-friendly inhibitors (also called “green corrosion inhibitors”). Green corrosion inhibitors are biodegradable compounds and do not contain heavy metals or other toxic compounds [2, 3]. They can be organic or inorganic in nature. The organic green inhibitors are the quinine, alkaloids, phenol, phenylpropanoid flavonoids, organic acid and other natural products obtained from natural sources like plants and animals. They also include synthetic compounds with negligible toxicity. Plant extracts, plant wastes, gums, drugs and oils have been considered as green corrosion inhibitors [4].

Natural or synthetic polymers have gained special attention in this field. The inherent stability, presence of multiple adsorption sites, eco-friendliness, availability and low cost makes polymers to be a better alternative to replace the commonly used hazard inhibitor substances such as arsenic and chromium salts. These polymers can also be produced in large quantities for industrial and commercial use. Natural polymers commonly studied as corrosion inhibitors include, among others, starch, gelatin, agar, chitosan, cellulose acetate, cellulose and carboxymethyl cellulose sodium salt [5]. The structures of these organic compounds typically contain nitrogen, sulfur and oxygen, and hydrophobic hydrocarbon chains. However, inhibitors are usually effective in a certain environment only for a specific material, but the corrosion environment is highly variable; therefore, an inhibitor working in one well may not work in another [6].

Carboxymethyl cellulose (CMC), available as sodium salt, is the most abundant natural biopolymer derived from cellulose by alkali-catalyzed reaction with chloroacetic acid. Sodium carboxymethyl cellulose (Na-CMC) is an anionic water-soluble linear polymer derived from the partial substitution of 2, 3 and 6 hydroxyl groups of cellulose by hydrophilic carboxymethyl groups. Na-CMC contains OH and COOH functional groups in its chemical structure as shown in Fig. 1 [7, 8]. Since the inhibiting action of natural polymers is generally attributed to their interaction with the metal surface through their adsorption, these polar functional groups are regarded as the reaction center that stabilizes the adsorption process, fulfilling an important criterion to act as a corrosion inhibitor [5].

**Figure 1** – Molecular structure of Na-CMC [8]



The use of CMC and its derivatives as corrosion inhibitors are particularly important because of their cheapness, water solubility, non-toxicity, and as environmentally acceptable polymers. In acid and alkaline environments CMC was found to possess moderate inhibiting effect for different metals. It has been reported as effective corrosion inhibitor for copper [8] cadmium [9], aluminium [10], and mild steel [11,

12, 13] in HCl solution. Bayol et al. [11] reported corrosion efficiency up to 70% for 0.004% of CMC in HCl solution. The results obtained by Umoren and co-workers [12] revealed that CMC functioned as an inhibitor (inhibiting efficiency up to 30%) for the acid induced corrosion of mild steel. Inhibition efficiency was observed to increase with increase in immersion time but decreased with increase in temperature. Nwanonenyi and collaborators [13] found expressive corrosion protection even at low concentrations and in alkaline solutions. Solomon et al. [14] reported inhibitive effect of CMC on mild steel in sulfuric acid solution. Further studies have reported synergistic formulations as effective means of improving the inhibitive performance and decreasing the inhibitor dosage [7, 12].

The adsorption of an inhibitor on metal surface depends on the nature and the surface charge of the metal, the adsorption mode, its chemical structure and the type of electrolyte solution. The aim of the present work was to study the effect of carboxymethyl cellulose sodium salt (Na-CMC) on the carbon steel in a neutral sodium chloride aqueous medium (pH 6.5).

## 2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

Cold rolled carbon steel AISI 1008 coupons (0.0662 C, 0.0070 Si, 0.3420 Mn, 0.0160 P, 0.0081 S, and the balance Fe, in wt%) of the dimensions 7 cm × 2 cm × 0.09 cm were used in this study. Before corrosion experiments, the coupons surface were submitted to an abrading procedure with SiC papers (#320, #600, #1200 and #2000 grades) and washed vigorously with tap water and deionised water. The coupons were degreased with absolute ethanol in ultrasonic bath for 60 s and then dried under cold air stream.

Sodium salt of carboxymethyl cellulose (Na-CMC) was commercially purchased from Greentec (viscosity 1000 cP-2000 cP) and sodium chloride analytical grade from Anidrol were used without any further purification. Concentrations of 50 mg/L, 100 mg/L, 200 mg/L and 400 mg/L in 0.1 mol/L NaCl solution were considered in this study.

Metrohm Autolab Potentiostat/Galvanostat electrochemical system workstation (PGSTAT302N) was used to perform electrochemical experiments at room temperature and under natural aired conditions. The NOVA 1.11 software was used to analyze the data. A platinum wire was used as counter electrode (CE), an Ag/AgCl electrode as reference electrode (RE) and the specimen as the working electrode (WE) with testing area of 0.75 cm<sup>2</sup>. To gain the stable status of the working electrode it was immersed in aerated test solution for 300 s before each measurement, which allowed the open circuit potential (OCP) values to attain steady state. The potentiodynamic cathodic and anodic polarization curves were scanned from -0.80 V to +0.80 V *versus* OCP at a scan rate of 5.10<sup>-3</sup> V/s. Impedance diagrams were obtained over a frequency range of 10<sup>-2</sup> Hz to 10<sup>5</sup> Hz, and the AC voltage amplitude was 10<sup>-2</sup> V. The protection efficiency of the inhibitors ( $\eta$ %) was estimated by the following equation (1):

$$\eta_{(\%)} = \frac{R_p^{(i)} - R_p}{R_p^{(i)}} \quad \text{Eq. (1)}$$

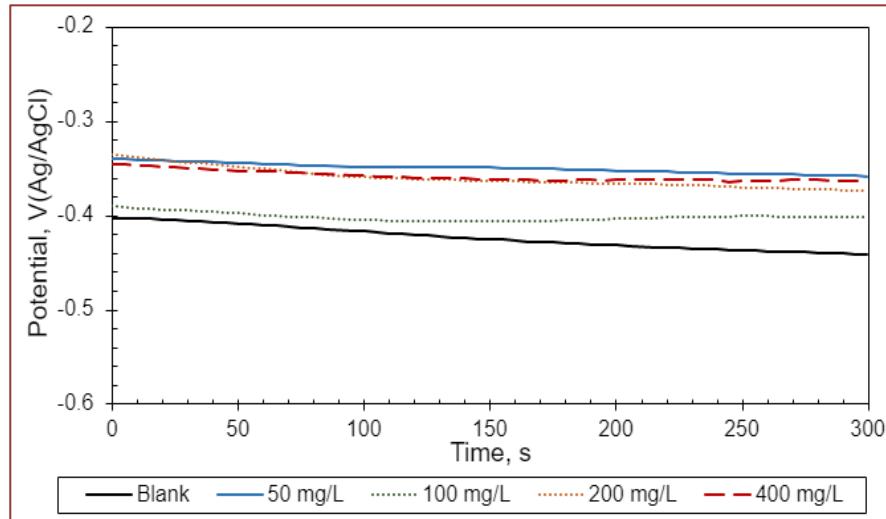
where  $R_p$  and  $R_p^{(i)}$  are the polarization resistance of WE without and with the inhibitors, respectively.

## 3. RESULTS AND DISCUSSION

The measure of the variation with time of the open circuit potential (OCP) of the working electrode is important for the definition of the domain of corrosion, partial and complete inhibition and the determination of the inhibitor-threshold concentrations. In the present study, the variation of OCP with time was determined in neutral diluted sodium chloride solution in the absence and presence of different concentrations of Na-CMC and shown in Fig. 2.

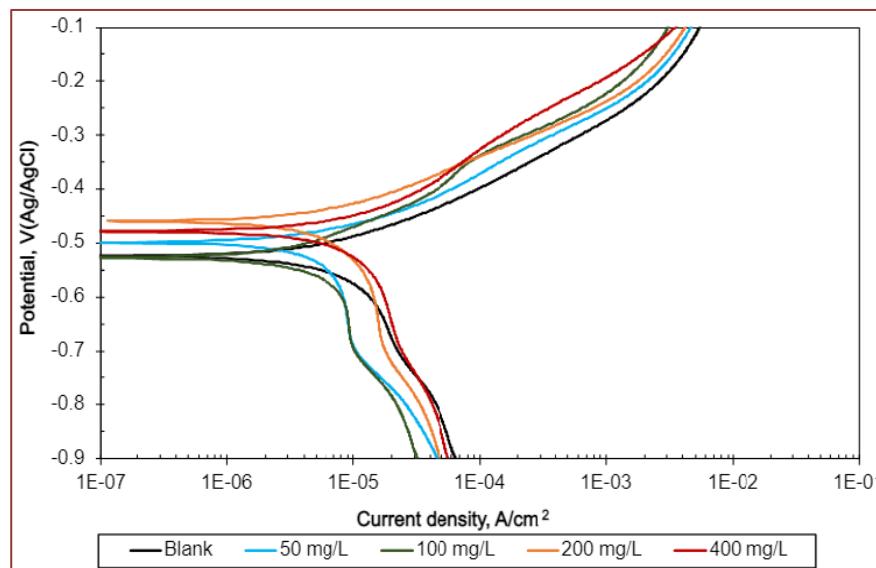
As shown in Fig. 2, the OCP in absence of the inhibitor tends to more negative value as a result of the breakdown of pre-immersion, air formed oxide film on the surface, and it tends to stabilize near to -0.44 V(Ag/AgCl) after 300 s. In presence of Na-CMC in concentrations above 50 mg/L the OCP was shifted to more noble values and reached a steady state condition into 300 s. For 400 mg/L Na-CMC the stable OCP value was -0.36 V(Ag/AgCl). Since the displacement in OCP between the inhibited and blank solutions was equal or less than 0.08 V it is suggested that the inhibitor acted as a mixed-type corrosion inhibitor in 0.1 M NaCl solution.

**Figure 2** - OCP versus immersion time for mild steel in 0.1 mol/L NaCl solution containing different concentrations of Na-CMC



From the electrochemical dynamic polarization measurements, Fig. 3, it is possible to see that the addition of an inhibitor causes a decreasing in both anodic and cathodic currents. The anodic current decrease is more significant than that of cathodic current for higher concentrations of Na-CMC (200 mg/L and 400 mg/L). The values of the corrosion potential ( $E_{corr}$ ) do not change significantly in the presence of the inhibitor, conferring the status of a mixed-type inhibitor system with  $E_{corr}$  approaching nobler values for the concentrations mentioned above. It can be also revealed from Fig. 3 that the curves show active anodic behavior, with the anodic current density increasing as the potential is applied, without a distinctive transition to passivation within the potential range studied, even in the presence of the inhibitor.

**Figure 3** - Potentiodynamic polarization curves for mild steel in 0.1 mol/L NaCl solution containing different concentrations of Na-CMC

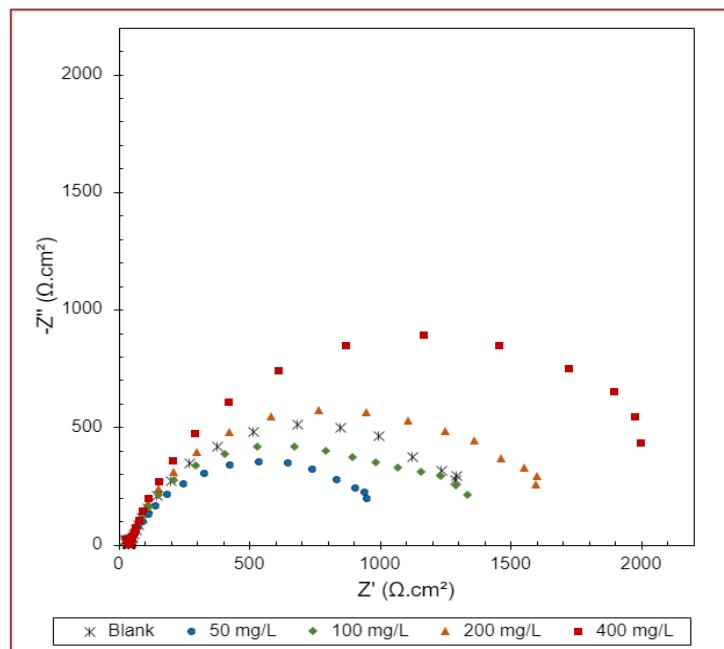


To further evaluate the corrosion protection performance of carbon steel without and with Na-CMC, EIS measurements were performed and shown in Fig. 4 and 5. Inspecting Fig. 4, it is possible to see that the inhibited and non-inhibited specimens showed a single capacitive circuit, which indicates that the dissolution of the metal in the present case involves a charge transfer mechanism [7]. Compared to the

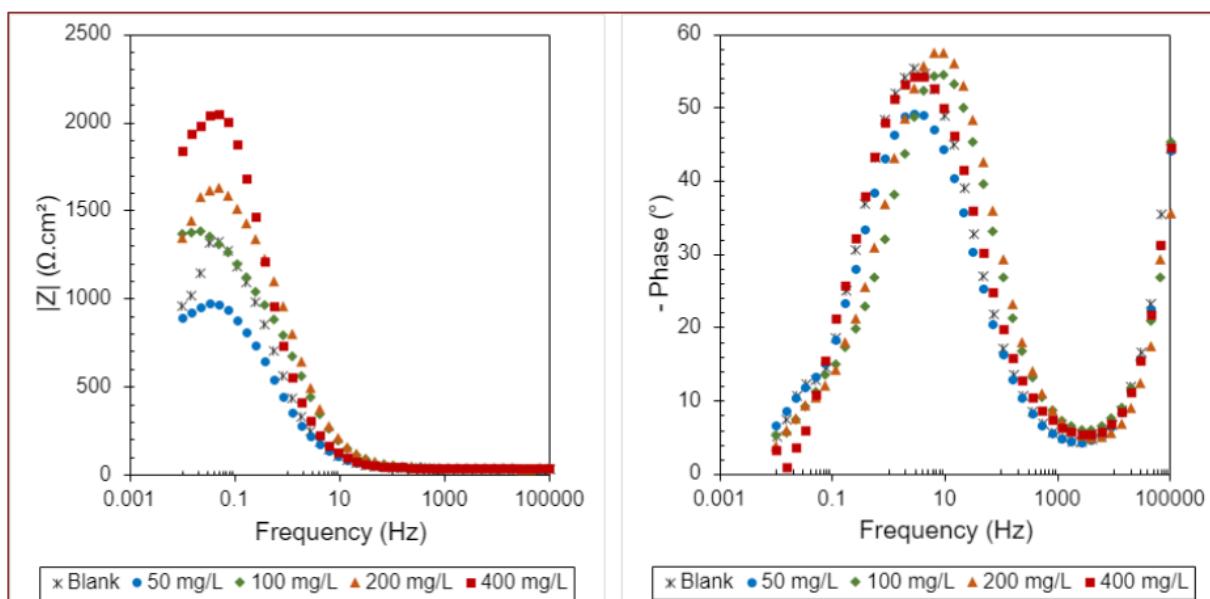
blank solution, the diameters of the Nyquist plots increased for Na-CMC concentrations of 200 mg/L and 400 mg/L.

Bode plots (Fig. 5) refer to the existence of a single constant phase element at the metal/solution interface. The impedance at low frequencies increased due to the formation of inhibition film by the adsorption of inhibitors molecules, which protects the metal substrate from corrosive ions. The maximum phase angle was observed at the intermediate frequency. In the absence of inhibitor, the phase angle value is similar to the value observed in presence of 400 mg/L of Na-CMC.

**Figure 4** - Nyquist diagrams for mild steel in 0.1 mol/L NaCl solution with different concentrations of Na-CMC

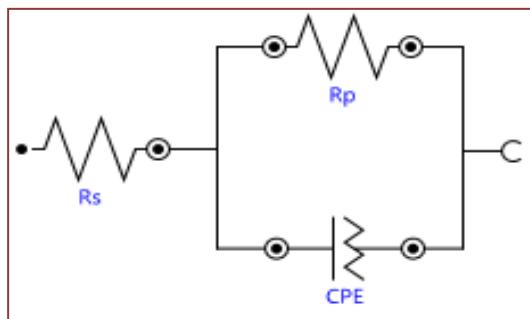


**Figure 5** - Bode diagrams for carbon steel in 0.1 mol/L NaCl solution with different concentrations of Na-CMC



Equivalent circuit models provide important information concerning the impedance parameters of each response derived from the EIS spectra. The impedance data was properly fitted with the Randles equivalent circuit as shown in Fig. 6. Due to the non-ideal capacitive behavior of the electrode/electrolyte systems investigated in the present study a CPE element was introduced to obtain a good agreement between the experimental and simulated EIS data. The CPE in parallel with the polarization resistance ( $R_p$ ) represents the adsorbed species forming films on the metal surface in an electrolyte with resistance ( $R_s$ ). This simple Randel circuit was used to adjust the impedance data shown in Table 1.

**Figure 6** - Equivalent circuit model



**Table 1** - Impedance parameters for corrosion of carbon steel in 0.1 mol/L NaCl with different concentrations of Na-CMC

$C_0$ (mg/L)	$R_s$ ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	$R_p$ ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	CPE ( $\text{mF}/\text{cm}^2$ )	$h$ (%)
Blank	36.4	1224.7	400	-
50	36.6	1010.3	556	-21.2
100	36.4	1337.6	245	8.4
200	36.7	1560.5	190	21.5
400	38.2	2137.5	311	42.7

From the electrochemical data listed, the increase in  $R_p$  values at the electrode/electrolyte interface increases with Na-CMC concentration above 100 mg/L. It is generally assumed that organic corrosion inhibitors are adsorbed on the metal surface and the structure of the electrical double layer changes with a reduction in the rate of partial electrochemical reaction. Thus, there is a decrease in the electrical capacity of the metal in the presence of the inhibitor, which may be related to the reduction in the exposed area of the metal due to the increase in the area covered by the adsorbed inhibitor molecules. As a consequence, an increase in the efficiency of inhibition of the corrosion process is obtained with increasing concentration of the inhibitor in the solution.

Apparently, the inhibition of metal dissolution occurs mainly at the interface between the metal and the corrosive medium through the adsorption of inhibitory molecules. However, the performance of the entire action depends on many factors, such as the nature and concentration of the inhibitor, the chemical composition and metallurgical state of the metal, the chemical nature, pH and temperature of the corrosive environment [6, 13]. Although the corrosion efficiency obtained with Na-CMC was lower than that of other inhibitors such as carboxymethylcellulose (CMC) and some of its derivatives reported in the literature, it is important to consider the relatively low concentration tested in this study and the effect of the pH of the solution. It seems that CMC and its derivatives are capable of presenting excellent corrosive efficiency at concentrations above 2 g/L and in strongly acidic or strongly alkaline corrosive media, which should favorably influence the adsorption of the inhibitor on the metal surface.

#### 4. CONCLUSION

The polarization curves revealed that Na-CMC adsorption affected partial anodic and cathodic reactions, characterizing it as a mixed-type inhibitor. Both cathodic and anodic current densities decreased in the presence of Na-CMC, but the decrease in the anodic current was more significant at concentrations above 200 mg/L of Na-CMC. Compared to the blank solution (no inhibitor) EIS results showed an increasing in the polarization resistance for concentrations of Na-CMC above 100 mg/L. The corrosion efficiency was found poor for concentrations up to 200 mg/L. In general, Na-CMC was considered a near-good polymeric inhibitor for corrosion of carbon steel in solution diluted neutral sodium chloride, reaching 42% inhibition efficiency at concentration of 400 mg/L becoming a promising ecofriendly corrosion inhibitor for mild steel in this medium.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are thankful to FAPERGS and CAPES Proex for funding this research.

#### REFERENCES

- [1] S. A. Umoren; A. A. AlAhmary; Z. M. Gasem; M. M. Solomon. International Journal of Biological Macromolecules, 117 (2018) 1017.
- [2] H. Wei; B. Heidarshenas; L. Zhou; G. Hussain; Q. Li; K. K. Ostrikov, Materials Today Sustainability, 10 (2020) 100044.
- [3] S. Marzorati; L. Verotta; P. Trasati. Macromolecules, 24 (2019) 1.
- [4] K. M. Emran, S. M. Ali; H. A. Al Lehaibi “Green Methods for Corrosion Control”, in Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications, IntechOpen Limited, London, UK (2018) pp. 61-75.
- [5] H. F. M. El-Shamy; Y. A. Aggour; A. M. Ahmed. Bioorganic & Organic Chemistry, 1 (2017) 1.
- [6] A. A. Al-Amiry; A. Kadhim; A. Al-Adili1; Z. H. Tawfiq. International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, 10 (2021), 1355.
- [7] R. Aslam, M. Mobin, J. Aslam, H. Lgaz, I-M. Chung. Journal of Materials Research Technology, 8 (2019) 4521.
- [8] M.-M. Li, Q.-J. Xu, J. Han, H. Yun, Y. Min. International Journal of Electrochemical Science, 10 (2015) 9028.
- [9] K. S. Khairou; A. El-Sayed. Journal of Applied Polymer Science, 88 (2003) 866.
- [10] O. M. Egbuhuzor; I. C. Madufor; S. C. Nwanonenyi; J. O. Bokolo. Nigerian Journal of Technology, 39 (2020) 369.
- [11] E. Bayol; A. A. Gurten; M. Dursun; K. Kayakrimaz. Acta Physico-chimica Sinica, 24 (2008) 2236.
- [12] S. A. Umoren; M. M. Solomon; I. I. Udosoro; A. P. Udoh. Cellulose, 17 (2010) 635.
- [13] S. C. Nwanonenyi1; H. C. Obasi1; A. M. Chidiebere. Journal of Bio- and Triboro-Corrosion, 4 (2018) 1.
- [14] M. M. Solomon, S. A. Umoren, I. I. Udosoro, A. P. Udoh, Corrosion Science, 52 (2010) 1317.

# Capítulo 4

## *Efeito do tiner no intumescimento da poliamida 6, polietileno de alta densidade e polipropileno*

*Rubens Rodrigues de Sousa*

*Catia Fredericci*

**Resumo:** Na indústria automotiva são utilizadas empilhadeiras para transporte de tiner nas salas de pintura e estoque de tintas. Essas são constituídas de garfos de materiais metálicos como ligas cobre berílio, aço inoxidável e bronze. Apesar de serem consideradas à prova de explosão, o contato do contêiner de tiner com o garfo pode gerar faíscas devido ao atrito entre eles. O tiner é formado por materiais voláteis que liberam vapor nas áreas mencionadas. Portanto, a geração de faísca nesses ambientes pode ser um risco potencial para explosão. Pelo nosso conhecimento, não há no mercado garfos de empilhadeiras revestidos com polímeros que evitaria o risco de formação de faíscas. Dessa forma, essa pesquisa tem o objetivo de estudar três polímeros termoplásticos para analisar se pelo menos um deles seria um material em potencial para revestimento dos garfos. Os polímeros estudados foram poliamida 6 (PA6), polietileno de alta densidade (PEA) e polipropileno (PP). Amostras desses polímeros foram submetidas a testes em contato com tiner líquido e na forma de vapor por 5, 10 e 20 dias. Foi determinado o ganho de massa (intumescimento) após cada período em contato com tiner. Os polímeros que apresentaram ganho de massa foram desconsiderados. Como apenas a PA6 não apresentou ganho de massa após 20 dias de ensaio, foi medida a resistência à tração desse polímero. Foram preparados corpos de prova de acordo com a norma ASTM D638 Tipo I. Os corpos de provas foram colocados em frascos em contato com tiner líquido e na forma de vapor por 20 dias. Após esse período as amostras foram retiradas dos frascos e foram submetidas ao teste de tração. Juntamente foi avaliada a resistência à tração de corpos de prova sem contato com tiner, denominados de amostras padrão. O grau de cristalização de 24,8 % da PA6 foi determinando por calorimetria exploratória diferencial. A força de ruptura da amostra padrão foi da ordem de 232 kgf, de tensão de ruptura de 58 MPa e alongamento de 329 %. Os valores obtidos para as amostras em contato com tiner líquido foram similares. No entanto, o comportamento das amostras em contato com tiner na forma de vapor foi diferente, resultando em diminuição de 35 % de tensão de ruptura. Os resultados indicam que o vapor de tiner resultou em efeito deletério na resistência à tração da PA6, nas condições de ensaios laboratoriais utilizadas nesta pesquisa.

**Palavras chaves:** Garfo de empilhadeira; tiner; atmosfera explosiva; metais; polímeros.

## 1. INTRODUÇÃO

Polímeros têm sido utilizados atualmente em diversas aplicações como em peças para indústrias automotivas, naval, aeronáutica, aeroespacial, construção civil, eletrônicos, eletrodomésticos, brinquedos, equipamentos médicos, mangueiras, tubos e conexões, embalagens, enfim, por ser extremamente versátil pode ser utilizado em diversas aplicações (ASKELAND e PUHLÉ, 2008; SOUSA, 2022).

Uma aplicação que, pelo nosso conhecimento, ainda não foi explorada é o revestimento de garfos de empilhadeiras (Figura 1) utilizadas em áreas de pintura e estoque de tintas em indústria automotiva. O solvente utilizado nessas áreas é o tiner contido em contêineres que são movimentados por empilhadeiras com garfos que podem ser de liga de cobre berfló, aço inoxidável 304/316 ou bronze, denominadas como EX (*explosion proof*). Embora haja todos os cuidados com a parte elétrica para designá-la à prova de explosão, há a possibilidade de formação de faísca no contato do garfo com o contêiner do tiner (SOUSA, 2022).

**Figura 1** – Garfo de empilhadeira antifásicante revestido com bronze



Fonte: SOUSA, 2022.

Como o emprego de materiais poliméricos para revestimento de garfos de empilhadeiras, para operar em atmosferas explosivas, ainda não foi explorado, esta pesquisa tem como objetivo analisar o comportamento de três polímeros termoplásticos em contato com o tiner líquido e na forma de vapor, com a finalidade de identificar se um deles poderia ser um material em potencial para recobrir os garfos nas áreas de preparação e estoque de tintas, de indústria automotiva. Os termoplásticos escolhidos para a realização da pesquisa foram poliamida 6 (PA6), polietileno de alta densidade (PEAD) e polipropileno (PP).

Os resultados apresentados neste capítulo fazem parte da dissertação do autor (SOUSA, R. R., 2022): “Estudo de alguns polímeros termoplásticos para possível revestimento de garfos de empilhadeiras que operem em áreas de alto risco de explosão”.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os polímeros selecionados nesta pesquisa estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Polímeros utilizados na pesquisa

Polímero	Fabricante
Poliamida (PA6)	Nitaplast Ind. e Comércio de Plásticos Ltda
Polietileno de alta densidade (PEAD)	MGM Plásticos
Polipropileno - (PP)	Plastireal

Os polímeros PA6, PEAD e PP foram recebidos tanto em forma de tarugo (22 mm de diâmetro por 500 mm de comprimento) como em placas retangulares de 30 mm x 53 mm e comprimento de 500 mm. A PA6 também foi recebida na forma de placas com comprimento de 400 mm de comprimento, 3 mm de espessura e 180 mm de largura para a preparação de corpos de prova para os ensaios de tração.

Os tineres utilizados foram 888 PU e 800 Extra ambos da Natrielli Química Ltda e são os mesmos utilizados no processo de pintura na indústria automotiva. Nas Tabelas 2 e 3 são apresentadas as composições dos tineres de acordo com a Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ), as temperaturas de ebulação e pressão de vapor de seus constituintes. Apesar de a temperatura de ebulação dos componentes dos tineres ser maior que a temperatura ambiente (20 °C a 30 °C), na área de preparação e de estoque de tintas, os compostos como álcool, acetona, acetato, tolueno apresentam elevada pressão de vapor e são facilmente vaporizados em condições de temperatura e pressão ambiente (Sousa, 2022).

As Figuras 3 e 4 apresentam os fluxogramas das etapas realizadas nesta pesquisa e nos itens subsequentes serão detalhadas cada uma delas.

**Tabela 2** – Composição do tiner 888 PU, temperatura de ebulação e pressão de vapor dos constituintes do tiner

Componentes	Faixa de concentração (%) em peso <sup>(*)</sup>	Temperatura de Ebulação (°C) <sup>(**)</sup>	Pressão de Vapor mmHg <sup>(**)</sup>
Acetato de etila	5 – 15	77,0	100 (27°C)
Acetato de butila	5 – 15	126,0	10,6 (21°C)
Acetona	5 – 15	56,1	200 (22,7°C)
Xileno	10 – 20	138,3	10 (27,3°C)
Tolueno	30 – 40	110,6	40 (31,8°C)
Butilglicol	1 – 5	171,2	0,87 (20°C)

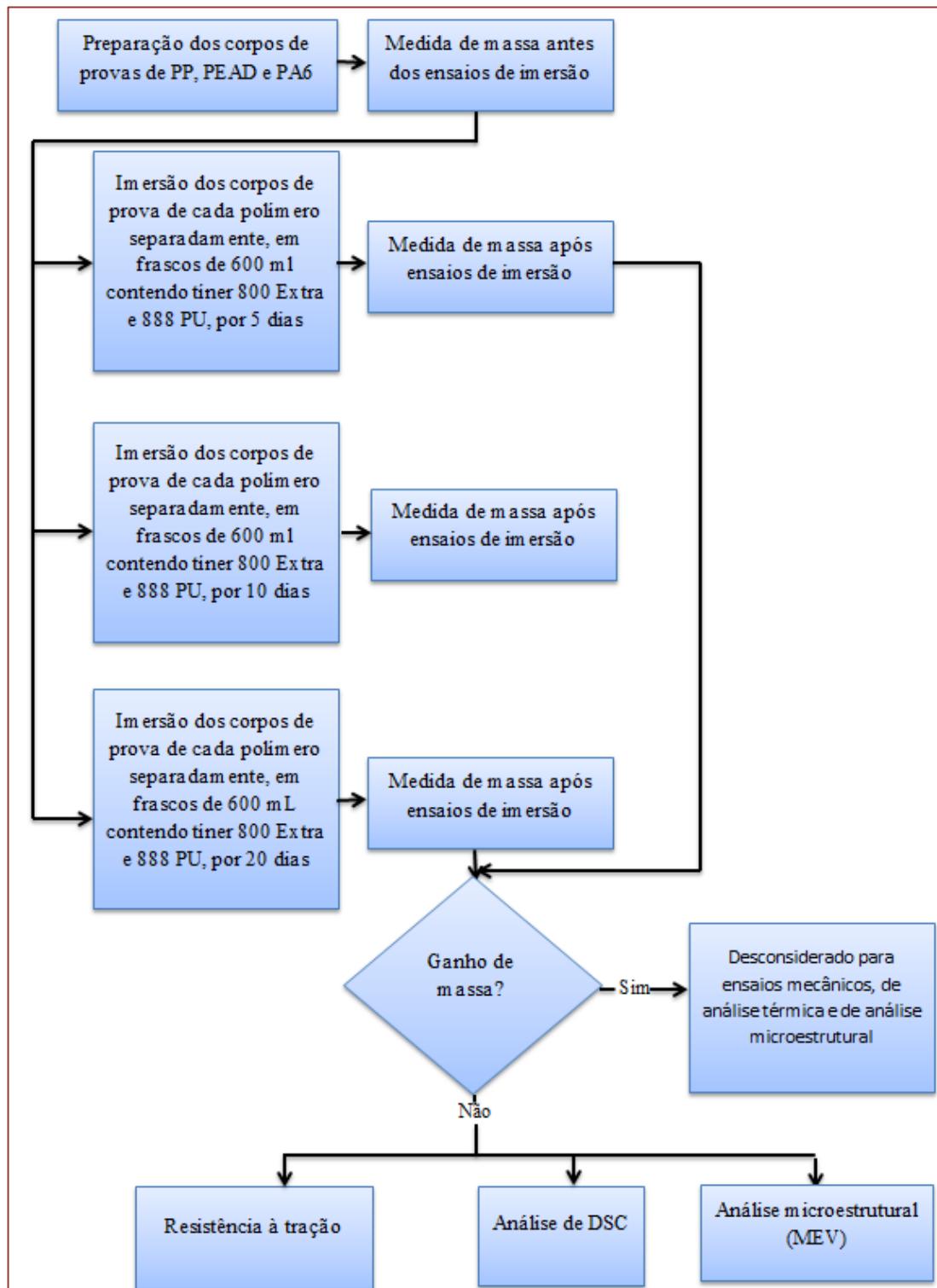
Fonte: Elaborada por Sousa, 2022 de acordo com dados de (\*)FISPQ 888 PU e (\*\*)Haynes (2014-2015).

**Tabela 3** – Composição do tiner 800 Extra, temperatura de ebulação e pressão de vapor dos constituintes do tiner

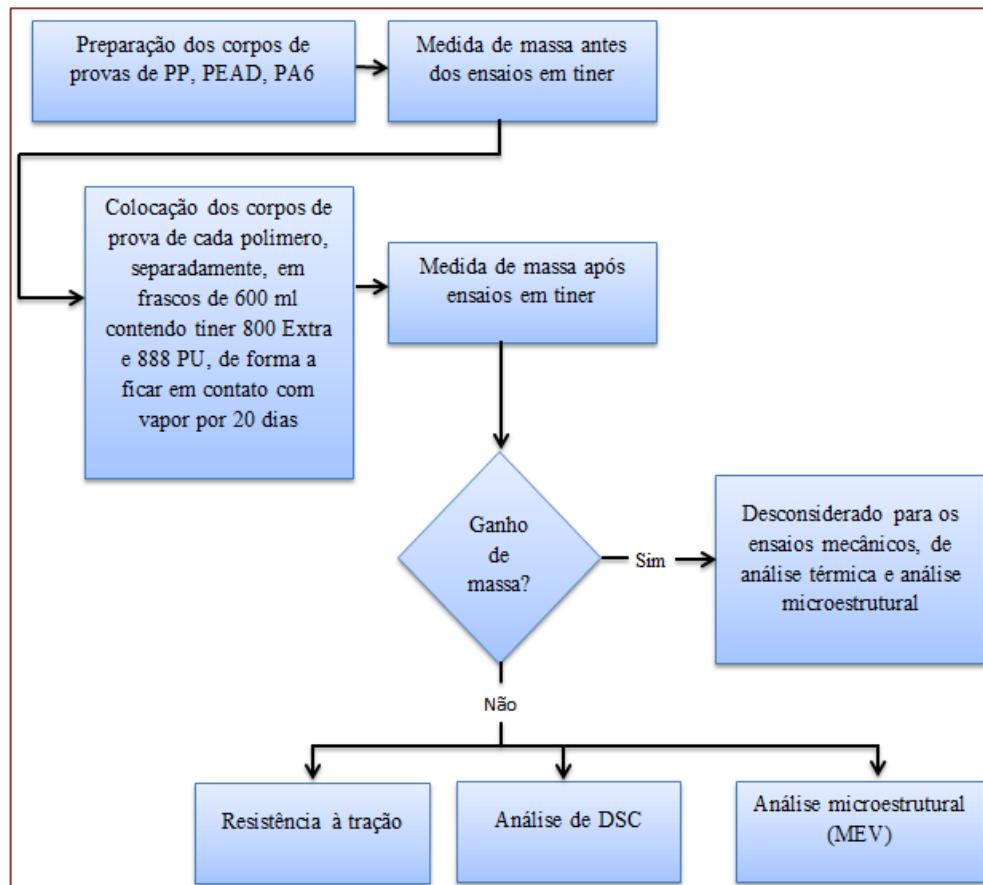
Componentes	Faixa de concentração (%) <sup>(*)</sup>	Temperatura de Ebulação (°C) <sup>(**)</sup>	Pressão de Vapor mmHg <sup>(**)</sup>
Acetato de etila	5 – 15	77,0	100 (27°C)
Acetona	5 – 15	56,1	200 (22,7°C)
Etanol	30 – 60	78,3	60 (26°C)
Tolueno	30 – 40	110,6	40 (31,8°C)

Fonte: Elaborada por Sousa, 2022 de acordo com dados de (\*)FISPQ 800 Extra e (\*\*)Haynes (2014-2015).

**Figura 2 – Fluxograma da etapa com polímeros em contato com tiner líquido**



Fonte: Sousa (2022).

**Figura 3 – Fluxograma da etapa com polímeros em contato com tiner na forma de vapor**

Fonte: Sousa (2022).

## 2.1. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA OS ENSAIOS EM CONTATO COM SOLVENTE LÍQUIDO

Os corpos de prova dos polímeros da poliamida (PA6), polietileno de alta densidade (PEAD) e o polipropileno (PP) apresentaram aproximadamente 22 mm de diâmetro e 30 mm de altura, barra retangular de polímeros de espessura de 30 mm x largura de 50 mm. A relação de massa de polímero (barra ou tarugo) e de tiner foi de 1g:3,4 ml. A Figura 4 apresenta foto dos frascos com tiner e o polímero PEAD, como exemplo. Foram utilizados dois corpos de prova para cada condição de ensaio em temperatura ambiente (20 °C a 25 °C). Os testes foram realizados no período de 5, 10 e 20 dias (SOUZA, 2022).

**Figura 4 – Corpos de prova de PEAD imersos nos tineres 888 PU e 800 Extra**

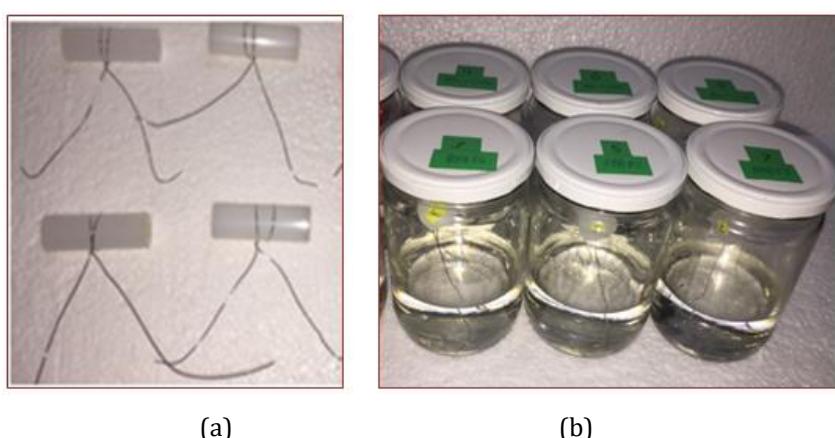
Fonte: Sousa, 2022.

Na tentativa de simular algum acidente com derramamento de tiner, nas áreas de preparação e estoque de tintas, a primeira etapa da pesquisa constituiu na imersão dos polímeros em tineres.

## 2.2. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS E TESTE EM CONTATO COM VAPOR DOS COMPONENTES DOS TÍNERES

Como a empilhadeira fica nas áreas de preparação e de estoque de tintas, a análise do efeito do vapor do tiner no intumescimento e na resistência à tração do polímero foi fundamental. A Figura 5 ilustra o procedimento experimental utilizado para essa finalidade. Amostras de polímeros variando de 18 g a 27 g foram suspensas em um frasco com 200 ml de tiner 800 Extra e frascos com 200 ml de tiner 888 PU, por 20 dias em temperatura ambiente (25 °C a 30 °C) (SOUSA, 2022).

**Figura 5** – (a) Preparação de tarugos de aproximadamente 22 mm de diâmetro e 60 mm de altura para ficarem suspensos nos frascos de vidro e (b) teste de evaporação com as amostras suspensas (sem contato direto nos tineres líquidos).



Fonte: Sousa, 2022.

O cálculo de intumescimento foi obtido a partir da equação 1 (Santos *et al.*, 2000):

$$\text{Intumescimento} = \frac{M_i - M_f}{M_f} \times 100\% \quad (1)$$

Onde  $M_i$  = massa inicial e  $M_f$  = massa após imersão em tiner líquido e na forma de vapor.

## 2.3. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Os corpos de provas para os ensaios de tração foram conformados de acordo com a norma ASTM D638 Tipo I. Como somente a PA6 não apresentou intumescimento, os ensaios de resistência à tração foram realizados somente para esse polímero.

Foram separados 5 corpos de prova de PA6 como recebida (padrão), 5 para os testes em líquido e 5 para os testes em vapor de tiner 888 PU e 800 Extra por 20 dias. Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaio universal Emic DL10000. Como utilizando-se a velocidade de 5 mm/min o material não foi rompido em 5 minutos, a velocidade foi aumentada para 50 mm/min. A carga utilizada foi de 5 kN. As propriedades avaliadas foram força de ruptura, tensão de ruptura e alongamento na ruptura. A Figura 6 apresenta os corpos de prova utilizados no ensaio.

**Figura 6 – Corpos de provas de PA6 preparados conforme norma ASTM D638 Tipo I**

Fonte: Sousa, 2022.

#### **2.4. ANÁLISE DE CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)**

Análises de calorimetria exploratória diferencial foram realizadas para as amostras de PA6 padrão e as que tiveram contato com tíneres na fase de vapor. Foi utilizado equipamento Mettler, modelo DSC 822e, massa de amostra de aproximadamente 6 mg, atmosfera de nitrogênio e taxa de aquecimento de 20 °C/min, no intervalo de -30 °C a 300 °C.

#### **2.5. ANÁLISE MICROESTRUTURAL**

A superfície de fratura, após o ensaio de tração, foi analisada em um microscópio eletrônico de varredura FEG Quanta 3D no modo elétrons secundários com utilização de 20 kV. As amostras foram recobertas com Au.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1. ANÁLISE DE INTUMESCIMENTO DOS POLÍMEROS EM CONTATO COM TÍNER LÍQUIDO**

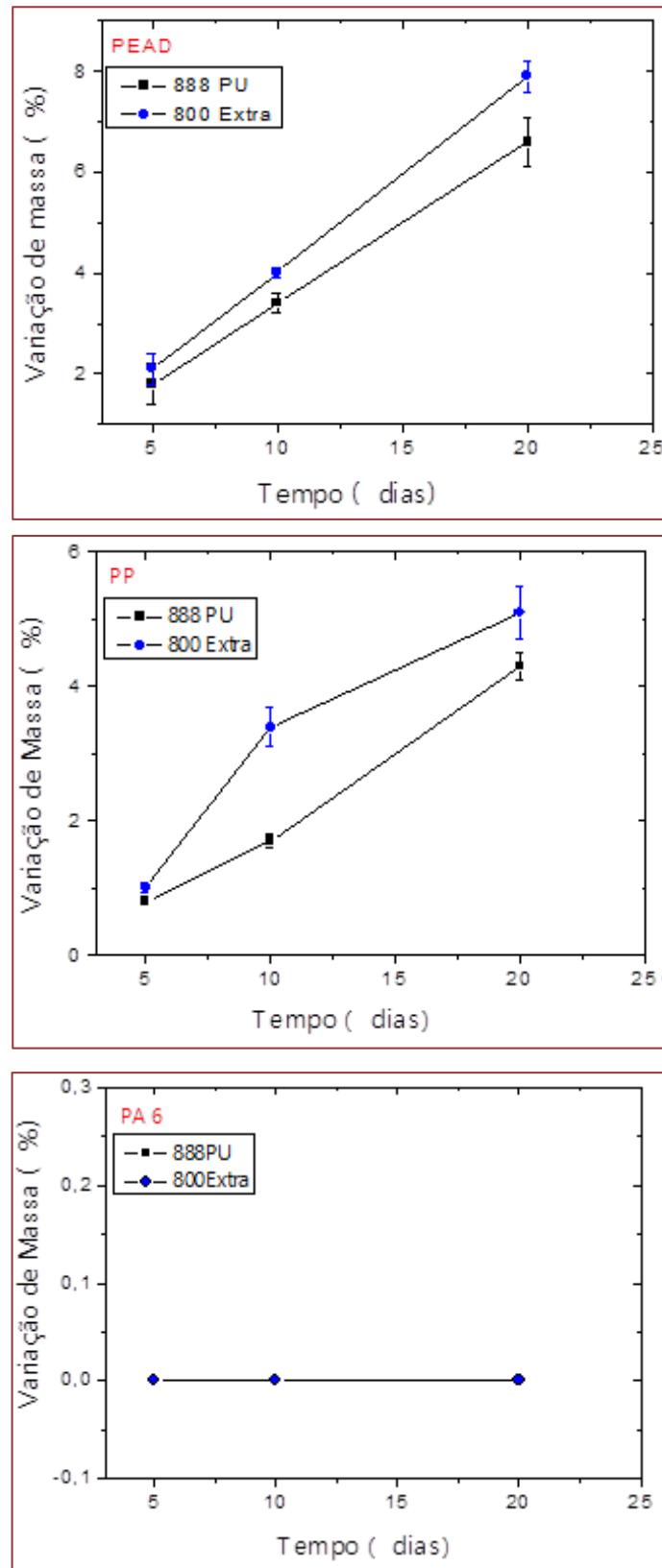
Na Tabela 4 são apresentados os resultados referentes à porcentagem de aumento de massa dos polímeros PA6, PP e PEAD após testes em tíneres líquidos 880 Extra e 888 PU pelo período de 5, 10 e 20 dias. A Figura 7 apresenta os gráficos de variação de massa em função de tempo. Os polímeros PEAD e PP apresentaram variação percentual de massa no período de teste mencionado; somente a PA6 não apresentou variação de massa no período de 5 a 20 dias de imersão em tíneres 800 Extra e 888 PU.

**Tabela 4 – Variação percentual de massa dos polímeros após testes em tíneres líquidos**

Tíner	Polímero	Variação percentual de massa após teste de imersão (%)			Desvio Padrão %
		5 dias	10 dias	20 dias	
888 PU	Poliamida (PA6)	0,0	0,0	0,0	0,0
	Polietileno (PEAD)	1,8	3,4	6,6	2,4
	Polipropileno (PP)	0,8	1,7	4,3	1,8
800 Extra	Poliamida (PA6)	0,0	0,0	0,0	0,0
	Polietileno (PEAD)	2,1	4,0	7,9	2,9
	Polipropileno (PP)	1,0	3,4	5,1	2,1

Fonte: Sousa, 2022.

**Figura 7** – Variação de massa em função do tempo para as amostras PEAD, PP e PA6 após testes em tineres (888 PU e 800 Extra) líquidos



Fonte: Sousa, 2022.

O PEAD e o PP apresentaram ganho de massa após imersão em 5, 10 e 20 dias, tanto em tiner 888 PU quanto em 800 Extra. Ambos são formados por cadeias de hidrocarbonetos (apolares), e os tineres 888 PU e 800 Extra apresentam hidrocarbonetos como xileno e tolueno em suas composições. Em um estudo de Baena *et al.* (2012) é reportado aumento de 8 % em massa em PEAD tanto em mistura de gasolina (hidrocarbonetos) quanto em gasolina+20 % etanol, concluindo que o etanol não teve efeito no intumescimento. Apesar de ser uma composição diferente (gasolina + etanol) à do tiner (acetatos, acetona, etanol, xileno, tolueno e butilglicol), o estudo de Baena *et al.* (2012) indica que o xileno e tolueno podem ser responsáveis pelo intumescimento desse polímero. A tabela de resistência química de PEAD da Nylacast indica que esse polímero é parcialmente resistente a tolueno. O valor médio de aumento de massa do PEAD em 800 Extra (6,6%) e em 888 PU (7,9%) foi similar, sendo que ambos apresentam 30 % a 40 % de tolueno.

Com relação ao PP também houve um aumento similar, na média, da massa após 20 dias em tiner 800 Extra (5,1%) e em 888 PU (4,3%). Pereira *et al.* (2014) estudaram o efeito de solventes orgânicos no comportamento de ganho de massa de polipropileno (PP). Os solventes utilizados no estudo foram: tolueno, heptano, decano e tetradecano em temperaturas de 25 °C, 50 °C e 80 °C. Os autores observaram que o aumento de massa do PP foi de aproximadamente 14 % em tolueno após aproximadamente 20 dias a 25 °C.

### 3.2. ANÁLISE DE INTUMESCIMENTO DOS POLÍMEROS EM CONTATO COM TÍNER NA FASE VAPOR

Na Tabela 5 podem ser observados os resultados dos testes realizados para os polímeros em contato com vapor dos tineres 888 PU e 800 Extra. No caso dos testes em fase de vapor somente foi utilizado o período de 20 dias. O comportamento foi semelhante ao observado para os polímeros em contato com os tineres líquidos. A PA6 não apresentou ganho de massa, enquanto PEAD e PP tiveram ganho de aproximadamente 1,6 % a 2,1 %, valores inferiores aos obtidos para os mesmos polímeros em tiner líquido. Uma possível explicação para esse comportamento é que a concentração dos componentes do tiner no estado líquido é maior do que a dos componentes na fase vapor.

**Tabela 5** – Variação percentual de massa dos polímeros após testes em vapor de tiner

Tíner	Polímero	Variação percentual de massa após teste em vapor (%)	
		20 dias	Desvio Padrão (%)
888 PU	Poliamida (PA6)	0,0	0,0
	Polietileno (PEAD)	1,6	0,2
	Polipropileno (PP)	1,7	0,2
800 Extra	Poliamida (PA6)	0,0	0,0
	Polietileno (PEAD)	2,1	0,3
	Polipropileno (PP)	1,7	0,2

Fonte: Sousa, 2022.

### 3.3. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

O ensaio de resistência à tração somente foi realizado para as amostras de PA6 visto que não apresentaram intumescimento após 20 dias em contato com tiner 888 PU e tiner 800 Extra na forma líquida ou vapor. As Tabelas 6 e 7 apresentam algumas propriedades dos ensaios de tração dos corpos de prova da PA6.

**Tabela 6** – Força de ruptura, tensão de ruptura e alongamento na ruptura da PA6 antes e após contato com tiner 888 PU líquido e vapor

Amostras	Força de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Alongamento Ruptura (%)
PA6	231,60 ± 0,89	55,78 ± 0,93	328,50 ± 31,45
PA6 - 888 PU Líquido	236,20 ± 0,36	58,70 ± 2,85	332,70 ± 78,47
PA6 - 888 PU Vapor	139,8 ± 18,85	38,40 ± 4,32	119,40 ± 7,60

Fonte: Sousa, 2022.

**Tabela 7** – Força de ruptura, tensão de ruptura e alongamento na ruptura da PA6 antes e após contato com tiner 800 Extra líquido e vapor

Amostras	Força de Ruptura (Kgf)	Tensão de Ruptura (MPa)	Alongamento Ruptura (%)
PA6	231,60 ± 0,89	55,78 ± 0,93	328,50 ± 31,45
PA6 800 Extra Líquido	260,9 ± 14,77	62,74 ± 3,73	467,20 ± 24,90
PA 6 800 Extra Vapor	130,20 ± 10,68	35,60 ± 2,57	121,70 ± 29,88

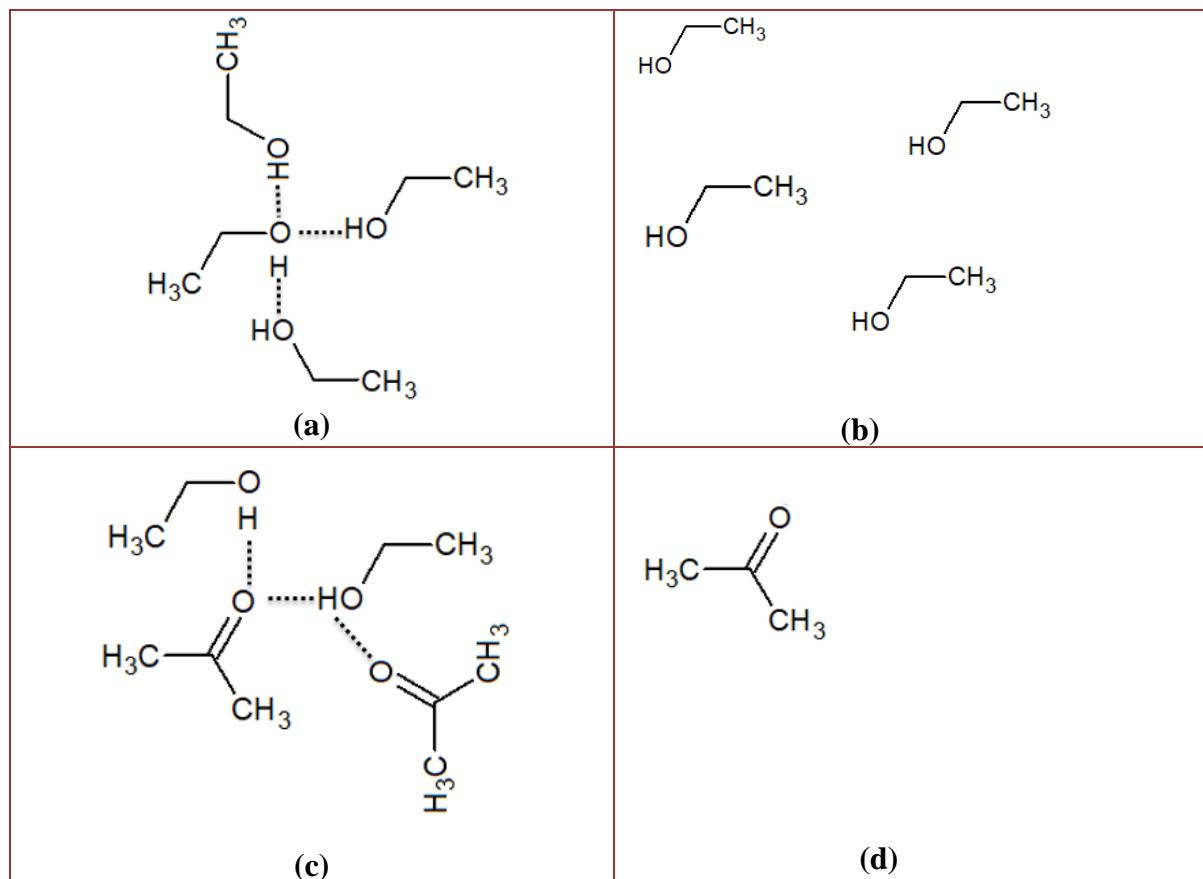
Fonte: Sousa, 2022.

O valor de tensão de ruptura da amostra de PA6, denominada padrão (como recebida), foi da ordem de 56 MPa. O fabricante da PA6 (Nitaplast) indica uma tensão de ruptura de 60 MPa para esse material, valor também reportado por Curra (2018). Os valores obtidos de tensão de ruptura antes e após contato com tiner 800 Extra e 888 PU são dessa ordem de grandeza. A tensão de ruptura diminuiu 31,2 % e 36,2 % para as amostras em contato com vapor de tiner 888 PU e 800 Extra, respectivamente, em relação à média da amostra padrão. Esses resultados mostram o efeito deletério dos componentes do tiner na forma de vapor nas propriedades citadas.

Apesar de não ter sido observado ganho de massa nas amostras de PA6 após contato com ambos os tñeres, a tensão de ruptura das amostras em contato com tiner na forma de vapor diminui drasticamente. As moléculas de acetato de etila, acetato de butila, acetona, etanol, tolueno, xileno e butilglicol apresentam baixa massa molar. Caso algum desses compostos tenha difundido nas cadeias da poliamida, e dependendo do teor, a balança analítica utilizada não apresentou sensibilidade para detectar variação de massa.

No tiner líquido as moléculas de etanol, acetona, acetato de etila, acetato de butila, butilglicol estão ligadas por interações do tipo van der Waals. Essas interações podem ser etanol-etanol, acetona-etanol, acetona-acetona, acetato-etanol, por exemplo, formando grandes estruturas moleculares (Figura 8). Assim, a difusão dessas moléculas na estrutura da poliamida é dificultada. Além disso, se a energia de ligação entre os componentes do tiner for maior que a energia de ligação solvente-polímero, ocorrerá menor interação com os grupos funcionais da PA6.

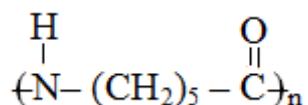
**Figura 8** – Exemplos de representação esquemática de interação entre componentes do tíner: (a) etanol em fase líquida) (b) etanol na forma de vapor, (c) etanol-acetona em fase líquida e (d) etanol e acetona em fase vapor



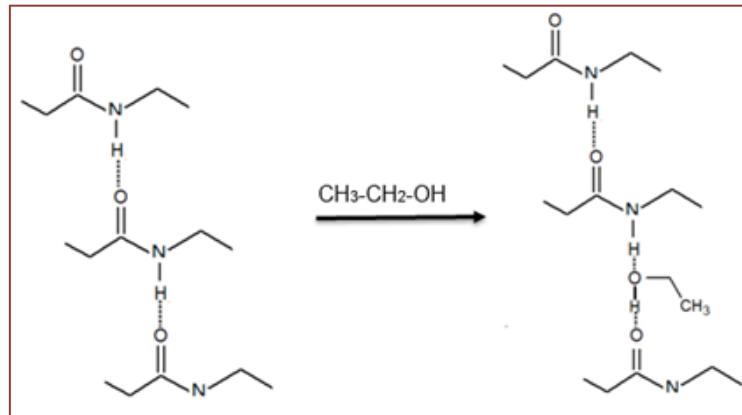
Fonte: Sousa, 2022.

Na fase vapor os componentes estão isolados, pois a movimentação das moléculas impede que interações tipo van der Waals sejam atuantes e, como as moléculas são pequenas, há maior probabilidade de difusão dessas cadeias da PA6.

A estrutura da poliamida 6 é:



Como há grupos polares no tíner como OH, no caso de etanol e butilglicol, pode ocorrer interação entre os grupos polares OH e C=O da cadeia da PA6. Rios de Anda *et al.* (2011) reportam o efeito da água na quebra das ligações entre -NH e C=O da poliamida, originando ligações hidrogênio. O mesmo pode ser inferido para a interação OH do etanol com os grupos polares da Poliamida 6. Uma possível interação é apresentada na Figura 9. A quebra das ligações intramoleculares do grupo C=O e -NH da cadeia e formação de pontes de hidrogênio diminuem as energias de ligações das cadeias da PA6 e provocam decréscimo da tensão e força de ruptura desse polímero. A maior diminuição de tensão e força de ruptura ocorreu para as amostras de PA6 que tiveram contato com vapor do tíner 800 Extra que apresenta 30 % a 60 % em peso de etanol. O tíner 888 PU não apresenta etanol, mas butilglicol que é um éter com terminação OH, porém em quantidade de 1 % a 5 % em peso e que também apresenta temperatura de ebulição mais elevada e pressão de vapor menor que a do etanol (Tabela 3) (SOUSA, 2022).

**Figura 9 – Representação de interação poliamida – etanol.**

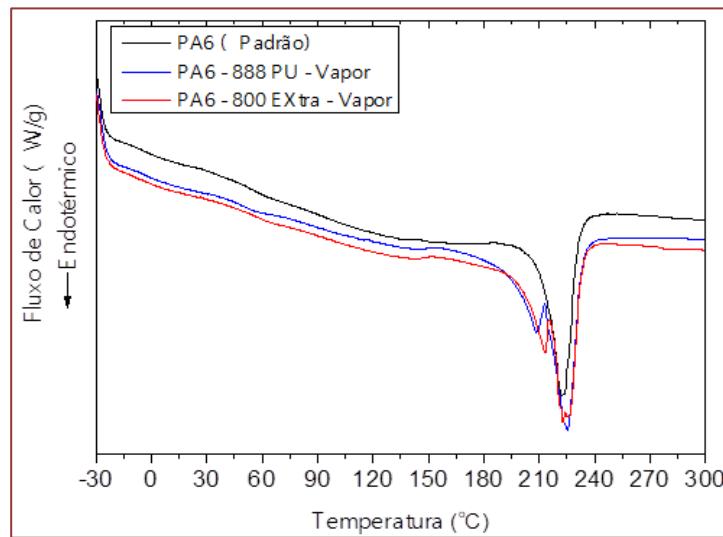
Fonte: Sousa, 2022.

O contato de etanol com poliamidas foi estudado por Cervera-Moreno *et al.* (2019). Esses autores reportam elevada rugosidade superficial e diminuição do módulo elástico de 1,5 a 2,5 vezes, dependendo da cristalinidade da poliamida, em relação com a poliamida sem contato com esse álcool.

### 3.4. CALORIMETRIA DIFERENCIAL DE VARREDURA (DSC)

As curvas de DSC das amostras PA6 padrão e PA6 em contato com tiner na forma vapor são apresentadas na Figura 10. Não foi possível observar a temperatura de transição vítreo ( $T_g$ ) com a utilização de taxa de aquecimento de 20 °C/min, mas um pico endotérmico em 222 °C referente à fusão da fase  $\alpha$  na amostra padrão (KUNCHIMON *et al.*, 2019). O grau de cristalinidade da PA6 foi determinado a partir da relação entre a entalpia de fusão ( $\Delta H_f$ ) que é obtida a partir da área do pico de fusão (Figura 10), e da entalpia da PA6 100 % cristalina ( $\Delta H_m = 190 \text{ J/g}$ ) reportada por Sabard *et al.* (2012):

$$\text{Grau de cristalinidade} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_{100}} \times 100\% = \frac{47,08 \text{ J/g}}{190 \text{ J/g}} \times 100 = 24,8 \%$$

**Figura 10 – Curvas de DSC de amostra PA6 padrão e PA6 em contato com vapor (tíneres 888 PU e 800 Extra)**

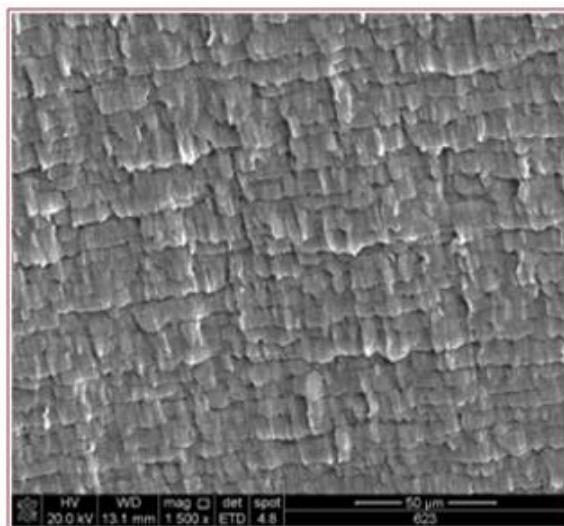
Fonte: Sousa, 2022.

Com relação às curvas de DSC das amostras em contato com vapor de tiner, pode-se observar a presença de dois picos endotérmicos: em aproximadamente 215 °C e 222 °C, que correspondem à fusão das fases  $\gamma$  e  $\alpha$ , respectivamente (KUNCHIMON *et al.*, 2019). Esse resultado pode ser uma indicação de interação de grupos funcionais do solvente tiner com os da PA6 provocando mudanças na estrutura da poliamida. Esse resultado corrobora com o resultado do decréscimo de força e tensão de ruptura, pois justifica que houve aumento da mobilidade das cadeias e diminuição das forças de ligação (SOUZA, 2022).

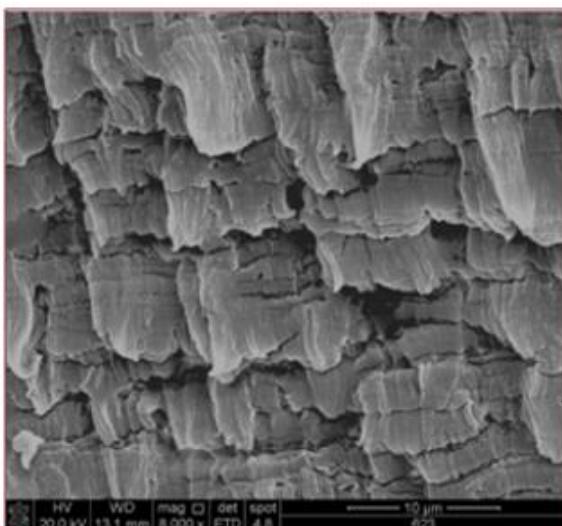
### 3.5. ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA NA SUPERFÍCIE DE FRATURA DA PA6 ANTES E APÓS IMERSÃO EM TÍNER LÍQUIDO E NA FORMA DE VAPOR

As Figuras 11, 12 e 13 mostram micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura das superfícies de fratura dos corpos de prova de PA6 submetidos aos ensaios de tração. As amostras são referentes aos corpos de prova antes e após contato com tineres 800 Extra e 888 PU líquido e na fase vapor durante 20 dias. Resultados semelhantes são reportados por O'Connor *et al.* (2018) para a superfície de fratura sobre tração de poliamida. As superfícies de fratura das amostras PA6 padrão e PA6 em contato com tiner líquido 880 Extra e 888 PU são semelhantes, corroborando com os dados de resistência mecânica que não foram significativamente afetados devido ao contato da PA6 com tiner líquido. No entanto, há diferença na microestrutura da superfície de fratura da PA6 que teve contato com tiner na forma de vapor, em relação à de PA6 padrão e à PA6 em contato com tiner líquido. Diferenças microestruturais estão ligadas às diferenças nas propriedades mecânicas que ocorreram nas amostras em contato com vapor de tiner. Zhou, Huang e Zhang (2014) reportam que a superfície de fratura de PA6 é grosseira e com ondulações, como as observadas nas micrografias das Figuras 11 e 12. Laiarinandrasana *et al.* (2010) correlacionaram os danos e evolução microestrutural de polímeros semicristalinos, em particular PA6, ao comportamento macroscópico do material durante os testes de tração e fluência, e reportam que o intumescimento em filmes finos de polímeros pode causar fissuração de cadeias. As microestruturas das superfícies de fratura da PA6 após 20 dias em contato com tiner na forma de vapor apresentam algumas microfissurações, como mostradas nas Figuras 12 e 13 (SOUZA, 2022).

**Figura 11** – Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura, no modo elétrons secundários, da superfície de fratura de um corpo de prova submetido ao teste de tração de PA6 sem contato com tiner (amostra padrão)



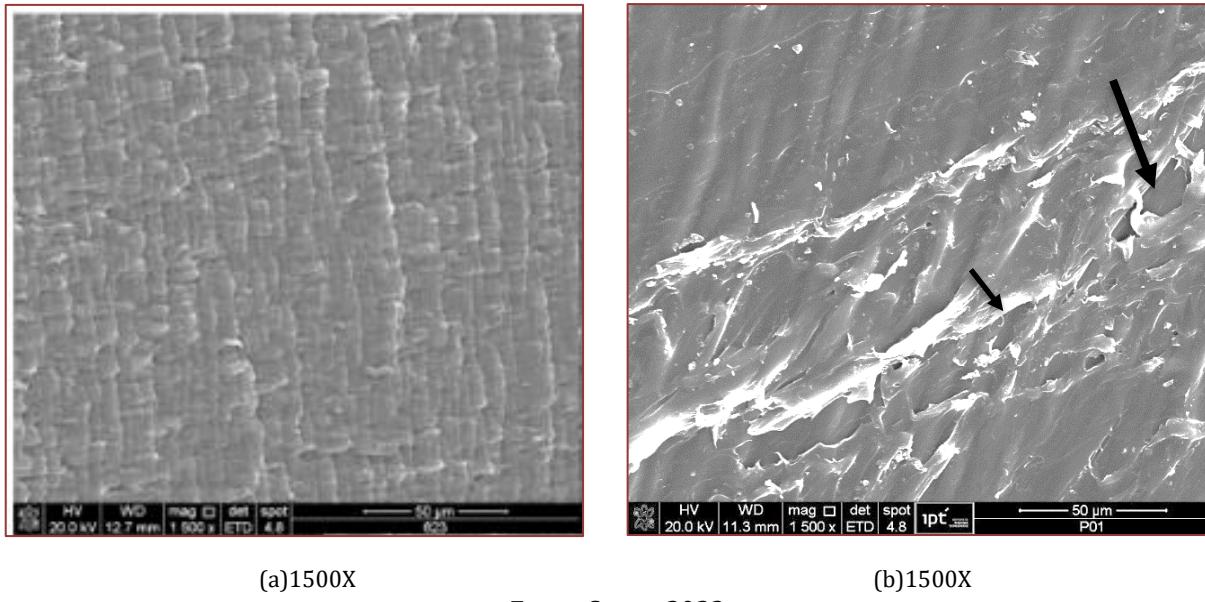
(a)1500X



(b)8000X

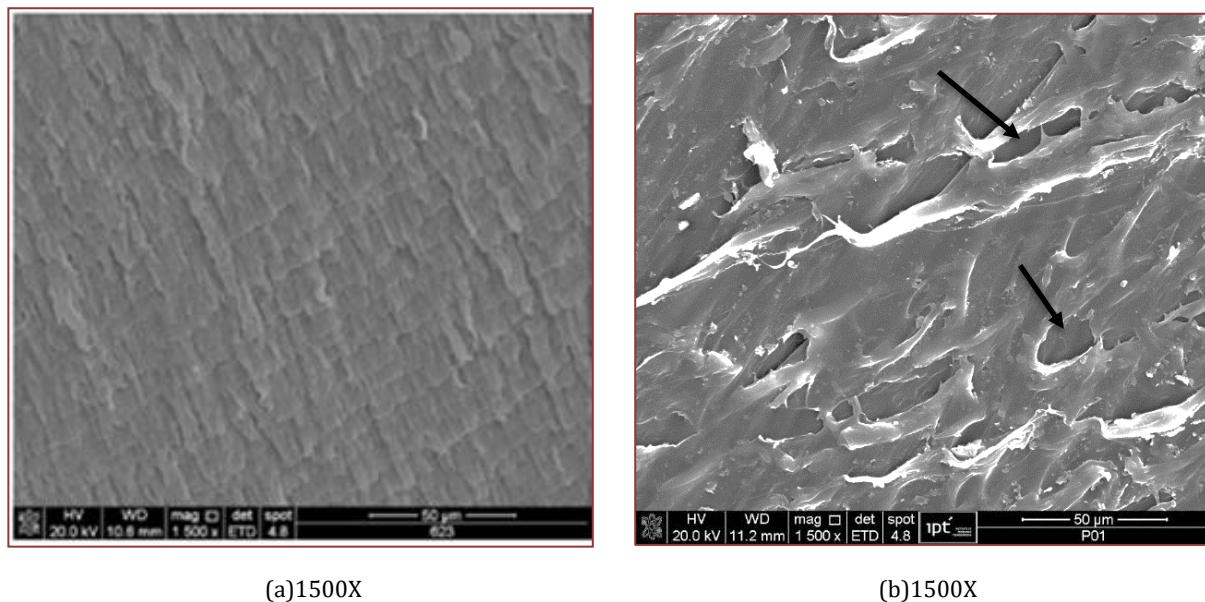
Fonte: Sousa, 2022.

**Figura 12** – Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura, no modo elétrons secundários, das superfícies de fratura de corpos de prova submetidos ao teste de tração de PA6 após imersão em tiner 800 Extra por 20 dias: (a) líquido e (b) vapor. As flechas indicam microfissurações



Fonte: Sousa, 2022.

**Figura 13** – Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura, no modo elétrons secundários, das superfícies de fratura de corpos de prova submetidos ao teste de tração de PA6 após imersão em tiner 888 PU por 20 dias: (a) líquido e (b) vapor. As flechas indicam microfissurações



Fonte: Sousa, 2022.

Como nas condições normais, as empiladeiras nas salas de preparação e estoque de tintas, na indústria automotiva, têm maior contato com vapor de tiner do que em fase líquida, sugere-se que a PA6 não é adequada para a aplicação em questão. No entanto, os testes foram realizados em frascos com elevado teor de vapor. Testes adicionais “*in loco*”, ou seja, colocação de amostras nas salas de pintura e de estoque de tintas, e posteriores medidas de ganho de massa e de resistência à tração poderiam ser realizados para confirmar a adequação ou não da utilização de PA6 como revestimento de garfos de empiladeiras.

Recentemente têm sido publicados alguns estudos referentes à interação de etanol, isosotano e tolueno em polímeros de tanques de combustível. O polietileno (PE) é um material predominante nesta área devido ao reconhecido baixo custo, é anticorrosivo e possui boa resistência à permeação de solvente polar, de acordo com Sabard *et al.* (2012). No entanto o PE tem baixa resistência a solventes não polares. Afim de melhorar as propriedades do PE têm sido desenvolvidas rotas de processamento de laminados de PE e PA6, que apresentam barreira a solventes não polar. Outra rota alternativa é a produção de blendas de PE e PA6, que pode levar a diferentes morfologias e constituir barreiras adequadas para misturas de solventes polares e não polares (SOUZA, 2022).

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, referentes ao efeito do contato do tiner 888 PU e 800 Extra líquido e na forma de vapor com PP (Pastireal), PEAD (MGM Comercial) e PA6 (Nitaplast), as principais conclusões são:

- As amostras de PP e PEAD apresentaram intumescimento. No caso de PP o maior ganho de massa foi de 5,1 % e do PEAD de 7,9 % em tiner líquido 800 Extra;
- Como os polímeros PEAD e PP apresentaram intumescimento, tanto em tineres 888 PU e 800 Extra líquidos ou na forma de vapor, não foram considerados adequados para recobrimento de garfos de empilhadeiras;
- As propriedades como tensão e força de ruptura não apresentaram variação significativa em função do contato da PA6 com tiner líquido (888 PU e 800 Extra), quando comparadas com as mesmas propriedades da amostra padrão (sem contato com tiner). A força de ruptura foi da ordem de 232 kgf a 261 kgf e de tensão de ruptura de 56 MPa a 62 MPa;
- Houve variação significativa nas propriedades mecânicas das amostras de PA6 após testes em tineres 800 Extra e 888 PU na forma de vapor, quando comparadas com a amostra padrão. A força e a tensão de ruptura diminuíram cerca de 40 % e 35 %, respectivamente;
- Os resultados obtidos não esgotam o estudo apresentado. Outras possibilidades como poliamidas com maior cristalinidade, outros polímeros com maior resistência química, blendas e compósitos/nanocompósitos poliméricos podem ser testados.

#### REFERÊNCIAS

- [1] BAENA, L.; JARAMILLO, F.; CALDERÓN, J.A. Aggressiveness of a 20% bioethanol 80% gasoline mixture on autoparts: II Behavior of polymeric materials. *Fuel*, 95, p. 312–319, 2012.
- [2] CERVERA-MORENO, J. J.; MARTINEZ-BORQUEZ, A.; SOTTA, P.; LAURATI, M. AFM investigation of the influence of ethanol absorption on the surface structure and elasticity of polyamides. *SN Applied Science*, p. 1-9, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s42452-019-1360-0.pdf> Acesso em: 15 de set. 2021.
- [3] CURRA, R. P. Influência da Utilização de Poliamida 6 Reciclada em Misturas com Poliamida Virgem nas Propriedades de Peças de Engenharia. 2018. 70 f. TCC (graduação). Escola de Engenharia. Engenharia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2018.
- [4] HAYNES, W. M. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 96. ed. New York: CRC Press, 2014-2015. 2704 p.
- [5] KUNCHIMON, S.Z., TAUSIF, M.; GOSWAMI, P.; CHEUNG, V. Polyamide 6 and Thermoplastic Polyurethane Recycled Hybrid Fibres Via Twin-Screw Melt Extrusion. *Journal of Polymer Research*, v. 26, p. 1-22, 2019.
- [6] LAIARINANDRASANA, L.; MORGENEYER, T.F.; PROUDHON, H.; REGRAIN, C. Damage of Semicrystalline Polyamide 6 Assessed by 3D X-Ray Tomography: From Microstructural Evolution to Constitutive Modeling. *Journal of Polymer Science Part B Polymer Physics*, v. 48, p. 1516-1525, 2010.
- [7] O'CONNOR, H.; DICKSON, A.N.; DOWLING, D.P. Evaluation of mechanical performance of polymer parts fabricated using a production scale melt jet fusion printing process. *Journal Additive Manufacturing*, v. 22, p. 381-387, 2018.
- [8] PEREIRA, T.M.C.; DOMINGOS, E.; CASTRO, E.V.R., ROMÃO, W.; SENA, G.L.; SENA, D.R. Efeito dos solventes orgânicos sobre o comportamento físico-químico do polietileno de alta densidade (PEAD) e do Polipropileno (PP). *Polímeros*, v.24, p. 300-306, 2014.

- [9] RIOS DE ANDA, A.; FILLOT, L.A.; ROSSI, S.; LONG, D., SOTTA, P. Influence of the sorption of polar and non-polar solvents on the glass transition temperature of polyamide 6,6 amorphous phase. *Polymer Engineering and Science*, p. 2129-2135, 2011.
- [10] SABARD, M.; GOUANVE, F.; ESPUCHE, E.; FULCHIRON, R; SEYTRE, G.; FILLOT, L-A.; TROUILLET-FONTI, L. Influence of film processing conditions on the morphology of polyamide 6: Consequences on water and ethanol sorption properties. *Journal of Membrane Science*, v.415–416, p. 670–680, 2012.
- [11] SOUSA, R. R. Estudo de alguns polímeros termoplásticos para possível revestimento de garfos de empilhadeiras que operem em áreas de alto risco de explosão. 2022, 117 f. Dissertação. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), Processos Industriais, São Paulo – SP, 2022.
- [12] ZHOU, S.; HUANG, J.; ZHANG, Q. Mechanical and tribological properties of polyamide-based composites modified by thermoplastic polyurethane. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, v. 27, p. 18-34, 2014.

# Capítulo 5

## *Adsorção de azul de metileno em carvão ativado sintetizado a partir de resíduos da indústria madeireira*

*Keivison Almeida Monteiro<sup>1</sup>*

*Wdson Costa Santos<sup>2</sup>*

*Mylena Junqueira Pinto Brito<sup>3</sup>*

*Patricia Santos Amaral<sup>4</sup>*

**Resumo:** A toxicidade dos corantes têxteis, vem despertado a busca de técnicas para combater e/ou reduzir essa problemática, no que tange o seu descarte de maneira inadequada nos corpos hídricos, sendo a adsorção com carvão ativado (CA) uma alternativa promissora. O CA possui como características área superficial interna e porosidade altamente desenvolvida, elevada estabilidade química e vários grupos funcionais sobre sua superfície, características essas que fazem desse material excelente adsorvente. O presente trabalho teve por objetivo, sintetizar carvão ativado a partir de resíduos de pó de serragem da madeira Guajará, e avaliar a capacidade desse material em adsorver o corante azul de metileno. O carvão foi ativado quimicamente utilizando hidróxido de amônio ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) como agente ativante. O processo de síntese levou ao desenvolvimento de um material poroso com baixo rendimento (7,00 %) e com ponto de carga zero em pH 7,2. O estudo de adsorção mostrou que o pH inicial da solução do corante não influenciou na capacidade adsorptiva do carvão ativado.

**Palavras-Chave:** Biocarvão, corante orgânico, resíduo de madeira, indústria têxtil.

<sup>1</sup> Engenheiro Civil – IFBA e Especialista em Engenharia de Produção pela Faculdade Única de Ipatinga - FUNIP

<sup>2</sup> Professor de Química do Instituto Federal da Bahia – IFBA

<sup>3</sup> Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB

<sup>4</sup> Técnica em Edificações pelo Instituto Federal da Bahia - IFBA

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso indispensável a vida, sendo necessário seu uso racional para a manutenção da sua existência na forma adequada de consumo. Uma das principais formas de poluição dos corpos hídricos é o descarte de rejeitos industriais, domésticos e agrícola sem nenhum tratamento.

A indústria têxtil tem destaque dentre os setores que mais emite poluentes ao ambiente, sendo eles atmosféricos, sólidos e efluentes líquidos em quantidades alarmantes (Chaves, 2009). O consumo de corantes orgânicos na indústria têxtil brasileira é mais de 20t/ano e mais de 20% de seu consumo torna-se em constituinte dos efluentes têxteis. (Dallago *et al.*, 2014).

Os corantes orgânicos por possuírem complexas estruturas aromáticas e propriedades xenobióticas os tornam difíceis de serem degradados. Seu descarte na forma de efluente em ambiente aquático, podem levar ao rápido esgotamento do oxigênio dissolvido, acarretando o desequilíbrio desse ecossistema. A presença dos corantes nos corpos hídricos, impede a penetração da luz solar nas camadas mais profundas, alterando a atividade fotossintética do meio, resultando na alteração da qualidade, diminuindo a solubilidade de oxigênio e resultando em efeitos tóxicos sobre a fauna e a flora aquática (Lalnunhlimi; Krishnaswamy, 2016).

O corante azul de metileno ( $C_{16}H_{18}N_3SCl$ ) é um composto aromático heterocíclico, sólido bastante solúvel em água e etanol (Santos, 2010; Salleh *et. al.*, 2011). O corante apresenta caráter catiônico, liga-se através de ligação iônica com grupos de cargas opostas presentes nas fibras, possui ampla aplicação como, coloração de papeis, tintura temporária de cabelo, tingimento de algodões, lãs, entre outros (Cardoso, 2010).

O descarte do corante azul de metileno nos corpos hídricos gera grande preocupação, uma vez que é extremamente agressivo ao meio ambiente, seu aquecimento pode gerar óxido de enxofre e óxido nítrico, além de causar efeitos toxicológicos em organismos aquáticos e na qualidade da água. Além disso, pode ser considerado como poluente de difícil remoção, por possuir caráter catiônico, altíssima reatividade e capacidade de reagir com diferentes substratos (Oliveira, 2016).

Com a necessidade de buscar formas eficientes e econômicas de tratar tais efluentes, técnicas vem se despontada no Brasil, a mais difundida é a síntese de carvão ativado a partir de resíduos da indústria agroindustrial e florestal a ser utilizado no processo adsorptivos interfacial sólido-liquido.

A indústria madeireira, é grande geradora de resíduos sólidos por possuir alto consumo no mercado nacional, nas produções de peças moveleiras e da construção civil. Estima-se que no brasil são produzidos 47,8 milhões de toneladas/ano de resíduos da indústria madeireira, sendo estes classificados como, pó de madeira, cavaco, maravalha, etc (Junior *et. al.*, 2017).

Tais resíduos não são aproveitados economicamente, muito pelo contrário os mesmos são queimados a “céu aberto” ou descartados em margens de rios e lagos, aterros sanitários e outros. Diante disso a síntese de carvão ativado a partir do pó-de-madeira, busca agregar valor a este subproduto e evitar o seu descarte de forma inadequada.

O carvão ativado, é um material carbonáceo, que possui como característica uma área superficial interna e porosidade altamente desenvolvida, elevada estabilidade química e vários grupos funcionais sobre sua superfície (Sahu *et al.*, 2010). Por tais características este material está sendo utilizado em larga escala como adsorvente (Pereira *et al.*, 2014; Nowicki *et al.*, 2015), em catálise ou como suporte catalítico (Giraldo & Moreno-Piraján, 2012) e em processos de purificação e separação (Hu *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2007).

A ativação do resíduo, visa aumentar a área superficial do carvão proporcionando o aumento da sua porosidade. O propósito fundamental do processo de ativação é o controle das características básicas do material como distribuição dos poros, área superficial específica, resistência, entre outros (Claudino, 2003; Borges *et al.*, 2003, Mohan E Pittman, 2006). Esse processo de ativação faz com que os carvões ativados, se diferem dos carvões vegetais, sendo essa ativação podendo ser, química ou física. A ativação química consiste na impregnação de agentes ativantes ácidos ou básicos como hidróxido de sódio ( $NaOH$ ) e ácido clorídrico ( $HCl$ ) no material ainda não carbonizado, onde estes agentes proporcionaram a formação de ligações cruzadas, tornando o material menos propenso a volatilização quando aquecido a temperatura elevada. Já a ativação física envolve a reação do carvão com vapores de água,  $CO_2$ , ou uma mistura destes dois ou outros gases, após a carbonização.

A utilização de carvão ativado como adsorvente de corantes industriais é uma das técnicas mais difundida para o tratamento de meios coloridos. A adsorção do corante azul de metileno em carvão ativado é eficiente graças a relativa simplicidade do sistema e às propriedades do carvão ativado, como alta área superficial, estabilidade química e alta capacidade de adsorção (Ramírez *et al.*, 2018).

A adsorção é descrita como um fenômeno físico-químico, onde o componente em fase fluida é transferido para a superfície de uma fase sólida. A adsorção envolve a acumulação ou concentração de moléculas na superfície interfacial ou fronteira de fases. Os agentes que interagem com a superfície são chamados adsortivos, enquanto que a fase sólida que retém o adsorvato é chamado adsorvente (Geda, 2006; Leal, 2003; Masel, 1996).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo a utilização de resíduos da indústria madeireira (pó de serragem da madeira Guajará), como material carbonáceo para produção de carvão ativado por meio da ativação química com hidróxido de amônia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), e avaliar sua capacidade em adsorver o corante azul de metileno.

## 2. METODOLOGIA

A matéria-prima para a síntese do carvão ativado, pó de serragem da madeira Guajará, foi obtido em uma madeireira da cidade de Vitória da Conquista – Ba, colocado em estufa há 105 °C durante 24h, para retirar toda umidade. Para a síntese do carvão ativado (CA), o farelo seco foi peneirado em peneira de 40 mesh, para obter um material homogêneo.

O material obtido do peneiramento foi impregnando com hidróxido de amônia ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) com razão de impregnação 1:1 (1g de precursor/ 1g de agente ativante) e seco em estufa por 24h. A carbonização do material ativado foi realizado em forno tipo mufla, com rampa de aquecimento de 5 °C/min até o patamar de 600 °C, permanecendo por 120 min. A lavagem do material carbonáceo foi realizada em duas etapas, a primeira consiste na agitação da amostra com 500 mL de ácido clorídrico 0,2 mol.L<sup>-1</sup> a 70 °C durante 60 min, a segunda com o auxílio de uma bomba de pressurização o carvão foi lavado com água em 70 °C até atingir o pH neutro.

O rendimento do carvão ativado com hidróxido de amônia (CAHA) foi obtido pela equação 1.

$$R_c (\%) = (m_c / m_p) \times 100 \quad (1)$$

Em que:  $R_c$  é o rendimento de carvão (%),  $m_c$  é a massa do carvão obtido (g) e  $m_p$  é a massa do farelo do precursor (g).

Para a determinação do ponto de carga zero ( $\text{pH}_{pcz}$ ), 50 mg do carvão ativado foi colocado em contato com 50,00 mL de solução de cloreto de sódio ( $\text{NaCl}$ ) 0,10 molL<sup>-1</sup> em uma faixa de pH variando de 1-11 e deixados sobre agitação constante por 24h. O pH das soluções foram ajustados com solução de cloreto de sódio ( $\text{HCl}$ ) ou hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ) 0,50 molL<sup>-1</sup>. Ao final das 24h o pH final foi medido e construído o gráfico, onde o  $\text{pH}_{pcz}$  corresponde à faixa onde o pH final se mantém constante.

A avaliação da capacidade adsorptiva do carvão ativado foi realizada usando como molécula modelo o corante orgânico azul de metileno (AM). Para a determinação do efeito do pH no processo adsorptivo, foram realizados testes variando o pH inicial das soluções. Uma massa de 25 mg de carvão ativado foi colocada em contato com 5 mL da solução de AM na concentração de 100 mg.L<sup>-1</sup>, nos valores de pH (3,0; 5,0; 7,0; e 9,0). O ajuste foi realizado com adição de solução fosfato de potássio bibásico, e ácido fosfórico (20 mM) para pH 7,0 e 9,0 e fosfato de potássio monobásico e ácido fosfórico (20 mM) para pH 5,0 e 3,0. As amostras ficaram sobre agitação constante (20 rpm), sem controle de temperatura por 24h, posteriormente foram centrifugados e o sobrenadante extraído.

A quantificação do AM foi realizada com leitura direta em espectrofotômetro no comprimento de onda de 665 nm. A capacidade adsorptiva no melhor pH é determinada pela equação 2.

$$q = \left( \frac{VC_{in} - VC}{Mads} \right) \quad (2)$$

Em que: q é a capacidade adsorptiva, após atingir o equilíbrio ( $\text{mg.g}^{-1}$ ), V é o volume de solução (mL),  $C_{in}$  concentração inicial da solução ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), C é a concentração da solução ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) no equilíbrio e Mads é a massa do adsorvente (g).

### 3. RESULTADO E DISCUSSÃO

O resultado obtido para o rendimento do carvão ativado está apresentado na tabela 1. Observa-se um baixo rendimento do adsorvente, comportamento esse que pode estar associado a natureza do agente ativante. Sabe-se que no processo de ativação com que agentes básicos, ocorre uma volatilização significativa dos compostos orgânicos formados, devido as baixas temperaturas de decomposição térmica do precursor, aparentemente antes das reações químicas envolvendo o agente de ativação se tornarem termodinamicamente viável a temperaturas mais elevadas, promovendo consequentemente menores rendimentos e razão de impregnação podem ter influenciado nessa perda de massa (Brito *et al.*, 2017).

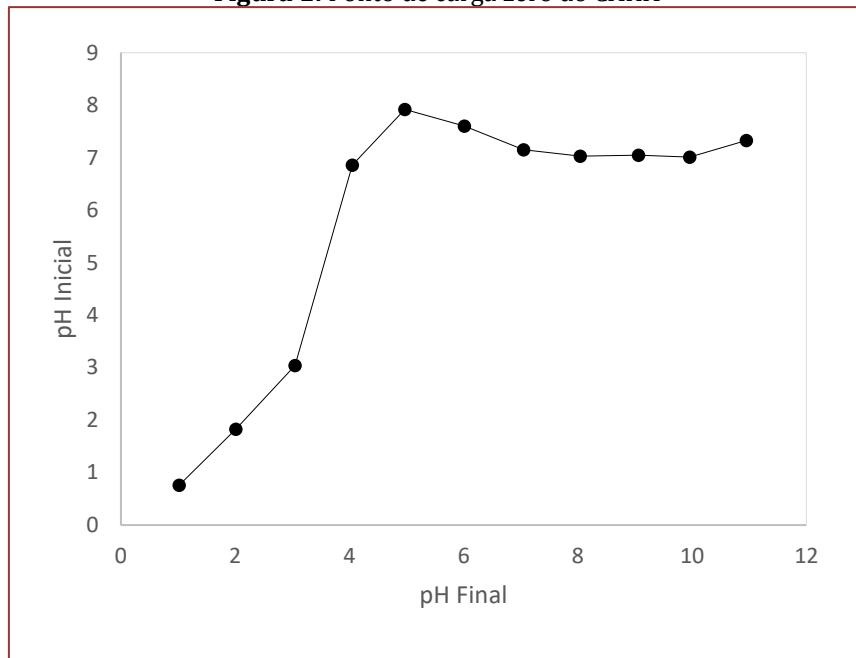
Além disso, as condições de síntese do processo, tais como a não utilização da atmosfera inerte durante o processo de carbonização, a elevada temperatura e tempo de carbonização, podem ter contribuído com a excessiva perda de massa do material.

**Tabela 1:** Rendimento do carvão ativado

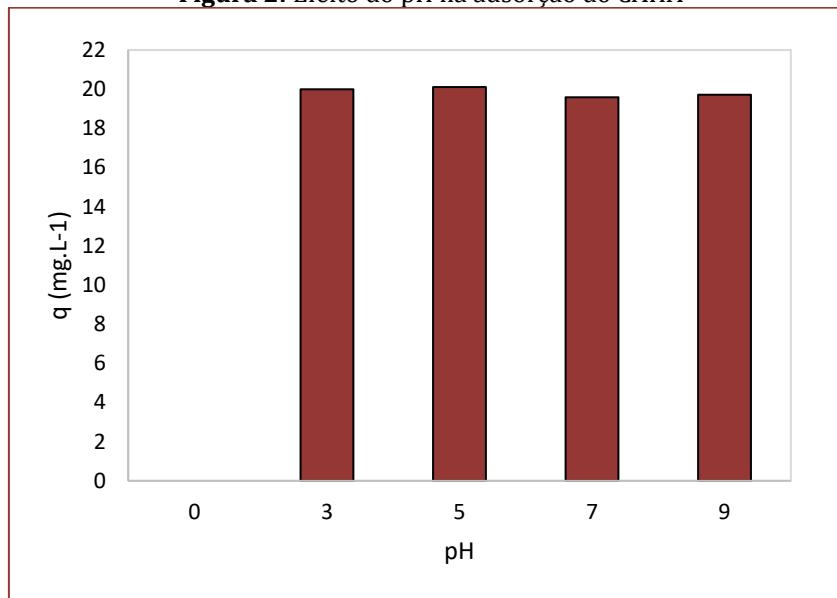
Amostra	Rendimento (%)
CAHA	7,00

Vale ressaltar que, o valor de rendimento obtido para o carvão ativado com hidróxido de sódio, está dentro de valores encontrados na literatura comparado com outros precursores, como 5,35% para carvão ativado do resíduo da casca do cupuaçu e 4,7% para o resíduo do endocarpo da amêndoia de praia (Alvez, 2015; Dias, 2013).

O ponto de carga zero do carvão está na faixa de pH 7,2 como demonstrado na figura 1. O valor do pH<sub>pcz</sub> obtido foi calculado fazendo uma média aritmética nos pontos que apresentaram pH constante no pH final. O ponto de carga zero, é o pH em que uma molécula se mostra com carga líquida neutra, nesse ponto as cargas negativas e positivas estão equilibradas. (Marimoto, 2019).

**Figura 1:** Ponto de carga zero do CAHA

O Resultado do efeito do pH no processo adsortivo do corante azul de metileno no carvão ativado produzido está apresentado na figura 2.

**Figura 2:** Efeito do pH na adsorção do CAHA

O pH da solução pode modificar a carga superficial do adsorvente, assim como influenciar no grau de ionização da molécula de adsorvato e no grau de dissociação de grupos funcionais sobre os sítios ativos do adsorvente (Mall, 2005). Observa-se (Figura 2) que a variação de pH não influenciou o processo adsortivo, desta forma, é possível inferir que as interações corante-adsorvente são interações hidrofóbicas, de Van der Waals e deve ocorre também formação de ligações de hidrogênio, ou seja, o processo de adsorção é cooperativo, havendo a contribuição de distintos tipos de interação (Brito *et al.*, 2018). Resultados semelhantes foram encontrados na remoção de azul de metileno, por Leal (2012) utilizando resíduos de babaçu, Silva e Oliveira (2012) utilizando o bagaço de cana modificada, Yang *et al.* (2017) utilizando como matriz *j-carrageenan*/óxido de grafeno gel e Jamarim *et al.* (2018) utilizando a casca da semente da *Moringa oleifera* Lam.

#### 4. CONCLUSÃO

A produção de carvão ativado a partir do pó de serragem da madeira Guajará, utilizando ativação química com hidróxido de amônia, mostrou-se viável, uma vez que apesar de apresentar baixo rendimento, está de acordo com o rendimento de carvões descritos na literatura. Conclui-se que, a amostra de CAHA, possui boa capacidade adsorptiva do corante azul de metileno e que o pH da solução não influência no processo adsorptivo. O emprego destas análises oferecem contribuição nas investigações atuais sobre o fenômeno de adsorção de corantes orgânicos, como também, o possível reaproveitamento de resíduos de madeireiras para a síntese de carvão ativado.

#### NOMECLATURA

CAHA= Carvão ativado com hidróxido de amônia

q = capacidade adsorptiva

C<sub>in</sub> = Concentração inicial da solução

M<sub>ads</sub> = massa do adsorvente

M<sub>c</sub> = massa do carvão obtido

M<sub>p</sub> = Massa do farelo do precursor

pH<sub>pcz</sub> = pH de ponto de carga zero

R<sub>c</sub> = Rendimento de carvão

V = Volume de solução

AM = Azul de Metileno

#### REFERÊNCIAS

- [1] ALVEZ, M. F.; BORGES, M. V.; BRITO, M. J. P.; MONTEIRO, K. A.; JESUS, F. W. A.; NUNES, G. S. (2015), "Avaliação da capacidade de remoção de corante orgânico em meio aquoso por carvões ativados obtidos a partir do endocarpo da amêndoada-praia", Blucher Engineering Proceedings, Vol 2, p1190-1197.
- [2] BORGES, F. M.; SILDA, F. P.; CARVALHO, M. C.; FILHO, A. G. (2003), "Desenvolvimento e criação de uma unidade produtiva de carvão ativado", Anais XXIII ENEGEP 2003 – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, p. 1-8, Ouro Preto – MG.
- [3] BRITO, M. J. P.; VELOSO, C. M.; SANTOS, L. S.; BONOMO, R. C. F.; FONTAN, R. C. I. (2018), " Adsorption of the dye dianix ® royal blue cc onto carbons obtained from yellow mombin fruit stones and activated with KOH an H3PO4: kinetics, adsorption equilibrium and thermodynamic studies.", Powder Technology, Vol. 339, p. 334-343.
- [4] BRITO, M. J. P.; VELOSO, VELOSO, C. M.; BONOMO, R; C. F.; FONTAN, R. C. I.; MONTEIRO, K. A. (2017), "Activated carbons preparation from yellow mombin fruit stones for lipase immobilization.", Fuel Processing Technology, Vol. 156, p. 421-428.
- [5] BUENO, C. I. C.; CARVALHO, W. A. (2007), "Remoção de chumbo (II) em sistemas descontínuos por carvões ativados com ácido fosfórico e com vapor", Química Nova, Vol 30, p.1911-1918.
- [6] CARDOSO, N. F. (2010), Remoção do corante azul de metileno de efluente aquoso utilizando casca de pinhão in natura e carbonizado como adsorvente. PPGQ/RS – Porto Alegre – RS, 54p. (dissertação de mestrado)
- [7] CHAVES, J. A. P. (2009), Adsorção de corantes têxteis sobre quitosana: condições, modelagem e otimização. PPGQ/ PB – João Pessoa – PB, 96p. (tese de doutorado)
- [8] CLAUDINO, A.(2003), Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes. 2003. PPGEQ/SC – Florianópolis – SC, 90p. (dissertação de mestrado).
- [9] DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO, A.; OLIVEIRA, L. C. A. (2014), "Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso", Revista Química Nova, Vol 28, p.433-437.
- [10] DIAS, P. S. (2013). Caracterização dos carvões ativados obtidos a partir da casca do cupuaçu e do caroço de pequi e avaliação do processo de adsorção de azul de metileno em meio aquoso. PPGCA/BA – Itapetinga – BA, 103p.
- [11] GEADA, O. M. R. N. D. (2006), Remoção de corantes têxteis utilizando resíduos agrícolas da produção de milho. PPGEA/PORTO – Porto – Portugal, 137p. (dissertação de mestrado)

- [12] GERALDO, L.; MORENO-PIRAJÁN, J.C. (2012), "Lipase supported on mesoporous materials as a catalyst in the synthesis of biodiesel from *Persea americana* mill oil", *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, Vol 77, p.32– 38.
- [13] HU, Q.; LU, Y.; MEISNER, G.P. (2008), "Preparation of nanoporous carbon particles and their cryogenic hydrogen storage capacities", *J Phys Chem C*, Vol.12, p.1516-1523.
- [14] JAMARIM, V. M.; KOPKO, L. B.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. F. (2018), "Remoção do corante azul de metileno utilizando a casaca da semente da *Moringa oleifera* Lam como adsorvente", *Anais do 12º EBA – Encontro Brasileiro sobre Adsorção*, p. 1-6, Gramado – RS.
- [15] JUNIOR, M. A. L.; ALVES, M. C. S.; VALARELLI, I. D.; SANCHEZ, L. E. A.; PEREZ, F. R. C. (2017), "O contexto brasileiro e as oportunidade e as oportunidade de aproveitamento de resíduos de madeira", *Resma*, Vol 5, p. 24-40.
- [16] LALNUNHLIMI, S.; KRISHNASWAMY, V. (2016), "Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium", *Brazilian Journal of Microbiology*, Vol 47, p. 39-46.
- [17] LEAL, P. V. B.; GREGÓRIO, A. M.; OTONI, E.; SILVA, P. R.; KRAUSER, M. O.; HOLZBACH, J. C. (2012), "Study of adsorption of methylene blue dye in waste babaçu", *Journal of Biotechnology and Biodiversity*, Vol 3, p. 166-171.
- [18] LEAL, C. C. (2003), Andrade, Avaliação da remoção do corante remazol Black b em efluentes têxteis utilizando como Adsorvente o mesocarpo do coco verde. PPGQ/PE – Recife – PE, 73p. (dissertação de mestrado).
- [19] MALL, I. D.; SRIVASTAVA, V. C.; AGARWAL, N. K. (2005), "Removal of congo red from aqueous solution by bagasse fly ash and activated carbon: Kinetic study and equilibrium isotherm analyses", *Chemosphere*, Vol 61, p. 492– 501.
- [20] MARIMOTO, M. G. (2019), Avaliação do efeito do pH na adsorção de proteínas do leite em bagaço de cana-de-acúcar. UFU/MG - Uberlândia – MG, 53p. (trabalho de conclusão de curso)
- [21] MASEL, R. I. (1996), "Principles of Adsorption and reaction on solid surfaces", Canada: John Wiley & Sons, p. 112, 1996.
- [22] MOHAN, D.; PITTMAN Jr, C. U. (2006), "Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri and hexavalent chromium from water", *Journal of Hazardous Materials*. Vol 137, p.762-811.
- [23] NASCIMENTO, J. M.; SILVA, B. S.; CHAVES, M. D.; OLIVEIRA, J. D. (2014), "Bioadsorção dos íons Cd<sup>2+</sup> e Pb<sup>2+</sup> utilizando a biomassa casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.) modificada com ácido cítrico", *Revista de Ciências Ambientais*, Vol 8, p. 57-69.
- [24] NOWICKI, P.; KAZMIERCZAK, J.; PIETRZAK, R. (2015), "Comparison of physicochemical and sorption properties of activated carbons prepared by physical and chemical activation of cherry stones." *Powder Technology*, Vol. 269, p.312–319.
- [25] OLIVEIRA, F.M. (2016), Resíduos agroindustriais como adsorventes para remoção de azul de metileno em meio aquoso. PPGQ/GO – Goiânia – GO, 163p. (dissertação de mestrado)
- [26] PEREIRA, R. G.; VELOSO, C. M.; DA SILVA, N. M.; DE SOUSA, L. F.; BONOMO, R. C. F.; DE SOUZA, A. O.; DA GUARDA , M. O; FONTAN, R. D. C. I. (2014), "Preparation of activated carbons from cocoa shells and siriguela seeds using H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> and ZnCl as activating agents for BSA and α-lactalbumin adsorption", *Fuel Processing Technology*, Vol 126, p. 476-486.
- [27] PETRONI, S. L. G.; PIRES, M. A. F. (2000), "Adsorção de zinco e cádmio em colunas de turfa", *Química Nova*, Vol 23, p. 477-481.
- [28] RAMÍREZ, C. A.; LONDOÑO, A. M. P.; ZAPATA, R. B. (2018), "Cascara de piña como adsorbente de colorants típicos de la industria textil", *Ciencia en Desarrollo*, Vol. 9, p. 161-168.
- [29] SAHU, J.N; ACHARYA,J.; MEIKAP, B.C. (2010), "Optimization of production conditions for activated carbons from tamarind wood by zinc chloride using response surface methodology", *Bioresour Technol*, Vol 101, p.1974–82.
- [30] SALLEH, M. A. M.; MAHMOUD, D. K.; KARIM, W. A. W. A.; AZNI, I.. (2011), "Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review", *Desalination*, Vol 280, p. 1-13.
- [31] SANTOS, A. (2010), Argilas montmorilonitas naturais e modificadas com surfactante aplicadas na adsorção do azul de metileno e pntrófenol em solução aquosa. PPQ/PR – Guarapuava – PR, 114p. (dissertação de mestrado).
- [32] SILVA, W. L. L.; OLIVEIRA, S. P. (2012), "Modificação das características de adsorção do bagaço de cana para remoção de azul de metileno de soluções aquosas", *Scientia Plena*, Vol 8, p. 1-9.
- [33] SILVA, W. L. L.; OLIVEIRA, S. P. (2012), "Modification of the sorptive characteristics of sugarcane basse for removing methylene blue from aqueous solutions", *Scientia Plena*, Vol. 8, p.1-9.
- [34] SOUZA, K. S.; FILHA, V. L. S. A.; PINTO, V. H. A.; FONSECA, M. G.; ESPÍNOLA, J. G. P.; ARAKAKI, L. N. H. (2007), "Quimissorção de cátions divalentes em sílica gel modificada com ácido tioglicólico - a influência do ph e força iônica", *Química Nova*, Vol 30, p. 528-534.

[35] YANG, K.; PENG, J.; SRINIVASAKANNAN, C.; ZHANG, L.; XIA, H.; DUAN, X. (2010), “Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating”, *Bioresour. Technol.*, Vol 101, p.6163–6169.

[36] YANG, M.; LIU, X. QI, W. MEN, Y. (2017), “Preparation of kappa-carrageenan/graphene oxide gel beads and their efficient adsorption for methylene blue”, *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol 506, p. 669–677.

# Capítulo 6

## *Produção de álcool hidratado concentrado em escala piloto a partir de descartes de uísque*

*João Bosco Cavalcante da Silva Segundo*

*Daniel Felipe Lima Soares*

*Josevan da Silva*

*Joselma Araújo de Amorim*

*Geraldo Dantas Silvestre Filho*

*Pierre Correa Martins*

**Resumo:** Existem muitas vias de produção de etanol hidratado, entre elas, a destilação de descartes alcoólicos para produção de misturas alcoólicas concentradas. Neste estudo foi realizado o uso de misturas de uísque cedidas pela Receita Federal brasileira para o reaproveitamento do seu conteúdo alcoólico. O objetivo foi obter álcool hidratado concentrado através da destilação destes descartes alcoólicos em uma coluna piloto experimental para produção de soluções desinfetantes e sanitizantes, com teor alcoólico superior a 60 °INPM ou 66 °GL. A metodologia utilizada foi o monitoramento operacional (tempo, temperatura e volume do destilado) e das propriedades físico-químicas (concentração alcoólica, pH e densidade) das soluções envolvidas no decorrer da destilação. Foram utilizados 180 litros (L) da mistura de uísque e os destilados obtidos foram divididos em três conjuntos para mistura e produção de três tipos de álcool hidratado: produto mais concentrado (78 °GL ou 73 °INPM), produto menos concentrado (71 °GL ou 65 °INPM) e produto residual (57 °GL ou 51 °INPM). O álcool mais concentrado apresentou a maior quantidade volumétrica (53 L, 72,2%), seguido do álcool menos concentrado (10,5 L, 16,5%) e do álcool residual (8,25 L, 11,3%). As características físico-químicas do álcool mais concentrado demonstraram sua adequada qualidade comercial para uso como desinfetante de superfícies e materiais, é incolor, tem aroma característico de etanol, possui densidade similar a mistura etanol-água, pH igual 6,2 e teor alcoólico superior a 70 °INPM. O álcool menos concentrado apresentou teor alcoólico para uso como sanitizante (teor alcoólico superior a 60 °INPM), seu pH foi levemente ácido (5,74), é incolor e tem densidade próxima da mistura etanol-água. O rendimento operacional de extração de álcool anidro das misturas de uísque na destilação foi desejável e igual a 72%. A destilação desses descartes alcoólicos na coluna piloto experimental se apresentou como uma via de produção de etanol hidratado para fabricação de desinfetantes e sanitizantes que serão utilizados pela comunidade local.

**Palavras-chave:** Extrato alcoólico, destilação, resíduos.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com o decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, bebida alcoólica é aquela que possui uma graduação alcoólica entre 0,5% e 54% em volume a 20°C (MAPA, 2022). Elas podem ser classificadas como fermentadas, destiladas, retificadas ou por mistura. Os álcoois são compostos que possuem a hidroxila (OH) ligada com um dos carbonos de sua estrutura e fundamentais na química por serem utilizados na indústria química, farmacêutica e de alimentos (DINIZ, 2008). Com a implantação da pandemia causada pelo vírus da Sars-Cov-2 (Covid-19), declarada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2020, muitos países, inclusive o Brasil, implementaram medidas de combate ao vírus tendo como medida primordial o isolamento social, uso de máscaras e a higiene das mãos e superfícies (SEQUINEL et al., 2020). Tais ações incentivaram a utilização de álcool etílico, chamado popularmente apenas de álcool, cujo consumo foi ampliado, promovendo uma escassez deste produto nas prateleiras dos seus mercados fornecedores (QUEIROGA et al., 2021). Essa maior demanda de consumo do álcool proporcionou o desenvolvimento de métodos alternativos de obtenção do produto. Assim, a utilização de descartes alcoólicos procedentes de bebidas alcoólicas, impróprias para o consumo, torna-se uma “matéria-prima” para a produção de álcool hidratado concentrado através da operação de destilação. A destilação é um método de separação de componentes sólidos ou líquidos presentes em uma solução de acordo com sua volatilidade, onde o componente mais volátil se desloca, sendo separado da solução (SARTORI et al., 2009). O produto obtido na destilação com uma graduação alcoólica elevada pode ser utilizado como desinfetante ou sanitizante para higiene de superfícies.

O presente estudo tem como finalidade a avaliação da produção de álcool hidratado concentrado, em escala piloto, a partir da destilação das misturas de uísque cedidas pela Receita Federal brasileira, avaliando os parâmetros operacionais e as propriedades físico-químicas das soluções alcoólicas envolvidas no processo.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. BEBIDAS ALCOÓLICAS

Com a evolução do consumo a indústria se aprimorou criando novas bebidas alcoólicas com características específicas para os diferentes paladares, destas destacam-se: cerveja, vinho, uísque, vodca, cachaça, gim dentre outras (VIANA, 2017). O art. 12 do decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, classifica bebidas alcoólicas em (MAPA, 2022):

- Bebida alcoólica fermentada: obtida por processo de fermentação alcoólica;
- Bebida alcoólica destilada: produzida por processo de fermento-destilação, pelo rebaixamento de teor alcoólico de destilado alcoólico simples, pelo rebaixamento do teor alcoólico do etílico potável de origem agrícola ou pela padronização da própria bebida alcoólica;
- Bebida alcoólica retificada: elaborada por processo de retificação do destilado alcoólico, pelo rebaixamento do teor alcoólico do álcool etílico potável de origem agrícola ou pela padronização da própria bebida alcoólica retificada;
- Bebida alcoólica por mistura: obtida pela mistura de destilado alcoólico simples de origem agrícola, álcool etílico potável de origem agrícola e bebida alcoólica, separadas ou em conjunto, com outra bebida não-alcoólica, ingrediente não-alcoólico ou sua mistura.

### 2.2. DESTINAÇÃO SUSTENTÁVEL DE BEBIDAS APREENDIDAS

Dentre as principais atribuições da Receita Federal do Brasil encontra-se o combate ao contrabando, o descaminho e a fiscalização de imposto sobre produtos industrializados que geram, por consequência, uma quantidade considerável de apreensões de bebidas alcoólicas. É sua atribuição, também, dar a destinação correta a esses produtos apreendidos que sofreram pena de perdimento e, de acordo com o art. 2º da Portaria MF nº 282/2011, existem três destinações possíveis para tais mercadorias, sendo essas: leilão, destruição e doação/Incorporação a órgãos da administração pública (MF, 2011; RECEITA FEDERAL, 2016).

A doação e incorporação dessas bebidas alcoólicas se torna uma opção desagradável para os órgãos da Receita Federal, pois o alcoolismo é considerado uma doença pela Organização Mundial de Saúde (OMS) e o consumo de produtos alcoólicos deve representar uma preocupação para o governo federal. Para o leilão desses produtos, este precisa estar em perfeito estado de conservação e com todas as suas especificidades de acordo com a legislação brasileira, tornando assim, inviável o leilão de material adulterado. Então, por muitas vezes, a destinação das bebidas alcoólicas resulta na sua destruição ou inutilização, a qual acaba gerando resíduos que precisam de descarte adequado, tais como, aterramento ou incineração. Para isso, a Receita Federal precisa desprender de recursos humanos além de uma área de descarte que gera à instituição um custo indesejado. Em consequência disso, a Receita Federal deu início a estudos destinados a identificar soluções de utilizar esses produtos apreendidos como ferramentas que contribuissem socialmente e gerassem economia para a sua população. A doação desses descartes alcoólicos para instituições de ensino que produzam extratos alcoólicos é uma dessas ações (RECEITA FEDERAL, 2016).

### 2.3. ÁLCOOL ETÍLICO

O álcool etílico, mais conhecido como etanol, é produzido e consumido desde os primórdios através da fermentação de açúcares presentes em vegetais. Até o presente momento grande parte do etanol produzido industrialmente é decorrente da fermentação e suas aplicações são muito vastas atendendo a indústria química, farmacêutica e de alimentos (BASTOS, 2007; DINIZ, 2008). O etanol é quimicamente composto de duas moléculas de carbono, cinco moléculas de hidrogênio e uma hidroxila (OH), é totalmente solúvel em água, seu ponto de ebulação é de 78,5°C e, em sua forma líquida, é altamente inflamável (VOLLHARDT; SHORE, 2013). O álcool hidratado pode ser separado em três classificações (ZARPELON, 2002);:

- Álcool Neutro: álcool livre de impurezas agressivas, sendo o mais indicado para consumo humano e veterinário.
- Álcool Industrial: utilizado em produtos industriais que não estejam relacionados com o consumo humano, cuja qualidade pode variar de acordo com a sua destinação, o qual geralmente possui graduação alcoólica mínima de 96% e baixas impurezas.
- Álcool de Baixa Qualidade: álcool menos elaborado, cujo uso, está mais relacionado à fabricação de combustível e, em alguns casos, utilizado como matéria-prima para a fabricação do álcool neutro.

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) define, por meio do seu Regulamento Técnico nº 3/2011 importantes características físico-químicas para o etanol hidratado, tais como (ANP, 2015):

- Cor: Deve ser incolor;
- pH: Deve estar com pH entre 6,0 e 8,0.

### 2.4. PRODUÇÃO INDUSTRIAL DE ETANOL HIDRATADO

Industrialmente, a produção de etanol hidratado altamente concentrado é realizada em duas colunas de destilação fracionada. A destilação é um processo de separação dos componentes de uma mistura em duas ou mais correntes, conforme suas respectivas volatilidades. Geralmente são utilizadas dois tipos de destilação para a produção de etanol (BONFIM-ROCHA; MOREIRA; LIMA, 2016):

- Destilação diferencial: é a técnica simples de separação, realizada em apenas um estágio. Por ser eficaz apenas para misturas binárias não é muito utilizada industrialmente já que nas indústrias são utilizadas substâncias com mais de um componente. Porém, é bastante utilizada em alambiques para a produção de bebidas destiladas, tal como a cachaça.
- Destilação fracionada: Constituída por uma coluna com vários estágios de separação que possibilita ao usuário separar múltiplos compostos presentes em uma substância.

Industrialmente, a produção de etanol hidratado altamente concentrado é realizada em duas colunas de destilação fracionada. Na primeira coluna é adicionado o vinho produzido pela fermentação e nela ocorre a retificação onde será produzido vapores com maior concentração de álcool. Na segunda coluna é adicionada o flegma, que é o produto contido no topo da primeira coluna e possui entre 49 e 53% de etanol, desta coluna sai o álcool hidratado com a maior concentração alcoólica possível (GENEROSO, 2021).

## 2.5. SANITIZANTES E DESINFETANTES

A contaminação humana por microorganismos pode acontecer de diversas formas, seja pela ingestão de alimentos contaminados ou até mesmo pelo contato com superfícies. Segundo Domingues, Ricci e Orsi (2011), diversas são as formas de combate à patologias causadas pelos microorganismos, destacando-se o uso dos sanitizantes e desinfetantes, os quais podem ser definidos como:

- Sanitizantes: são agentes capazes de reduzir o nível de contaminantes bacterianos em um nível seguro. Estes não precisam ter ação germicida, ou seja, não precisam destruir todos os microrganismos e seus esporos.
- Desinfetantes: são agentes capazes de matar os microrganismos em sua forma vegetativa.

Dentre os desinfetantes é possível destacar a amônia quaternária e os iodóforos. Nos sanitizantes se destacam o hipoclorito de sódio e o ácido paracético (KICH et al, 2004; MENEGARO et al, 2016).

Em relação a pandemia do COVID-19, o agente mais eficaz na inativação do vírus é o sabão em solução aquosa, a qual, muitas vezes, se encontra indisponível em diversas situações de nosso cotidiano. No entanto, essa higienização pode ser realizada através do uso de soluções que contenham álcool com, no mínimo, 60% em peso (RAMOS et al, 2020). Foi observado que o coronavírus da COVID-19 pode ser inativado em superfícies com o uso de soluções alcoólicas a partir de 62% a 71% de concentração mássica (KAMPF et al., 2020). Sendo assim, torna-se viável a produção de álcool a 62% em peso para fins de combate a esse vírus.

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1. MATERIAIS

O material utilizado para destilação e produção das soluções alcoólicas foram misturas de uísque fornecidas pela Delegacia da Receita Federal de João Pessoa/PB. A determinação das propriedades físico-químicas do álcool hidratado concentrado e das misturas de uísque foi realizada com a utilização de equipamentos e vidrarias de laboratório, tais como: alcoolômetro, picnômetro, pHmetro, termopar, balança digital, erlenmeyers, bêqueres e provetas.

### 3.2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

As misturas de uísque fornecidas, denominadas de descartes alcoólicos, foram devidamente descaracterizada para consumo humano pela Comissão de destruição de mercadorias apreendidas da Delegacia da Receita Federal de João Pessoa/PB. Esse procedimento consiste no acondicionamento das garrafas de uísques comerciais apreendidas em galões de 20 litros, adicionando-se a cada um destes recipientes uma pequena porção (cerca de 20 gramas) de colorífero alimentar comercial (popularmente conhecido como “colorau”).

O álcool hidratado foi produzido por meio de destilação da mistura de uísque em uma coluna piloto experimental em bateladas de 20 litros. Os destilados foram coletados em frações de 250 mL durante todo o processo de destilação com a finalidade de se obter o maior número de informações possíveis sobre as propriedades físico-químicas do álcool obtido durante a sua produção. Após a sua coleta foram realizadas as determinações físico-químicas (densidade, pH e concentração alcoólica) e, em seguida, estes foram acondicionados em garrafas de vidro âmbar com suas identificações.

Foram realizadas misturas alcoólicas dos destilados produzidos para produção do álcool hidratado com diferentes concentrações alcoólicas. Na composição destas misturas foram utilizados os conjuntos de destilados que produzissem um álcool com concentração alcoólica na faixa de 78 a 80 °GL e outro na faixa de 69 a 71 °GL. Os destilados com o menor teor alcoólico foram descartados da composição destas misturas devido a sua desqualificação comercial, os quais devem ser submetidos a processos físicos e/ou químicos para a melhoria de suas características físicas e químicas (retirada de coloração e compostos aromáticos), tal como, a sua percolação em uma coluna de adsorção com carvão ativo.

A Figura 1 demonstra os galões contendo as misturas de uísque (Figura 1A) e a coluna piloto experimental de destilação e produção do álcool hidratado (Figura 1B). O fluxograma operacional geral da produção dos produtos alcoólicos desejados está apresentado na Figura 2.

**Figura 1:** Misturas de uísque cedidas pela Receita Federal brasileira (Figura 1A) e coluna piloto experimental usada para a produção do álcool hidratado (Figura 1B)



Fonte: Autor (2022).

**Figura 2:** Fluxograma geral de produção de álcool hidratado

Fonte: Autor (2022).

O monitoramento operacional da destilação e a avaliação da qualidade comercial das soluções alcoólicas utilizadas e produzidas neste estudo foram realizadas experimentalmente pelas seguintes determinações: (i) Concentração ou Teor alcoólico, determinada com o uso de alcoolômetro de acordo com a norma ABNT-NBR 5992 (ABNT, 2008); (ii) Densidade, determinada através de picnometria líquida utilizando um picnômetro de 50 mL (marca DiogoLab®, Brasil) e seguindo metodologia de Webb (2001); (iii) Medida de pH, realizada em pHmetro de bancada de laboratório (modelo MPA-210/MPA 210-P, marca Tecnopen®, Brasil) e com soluções tampão (pH 4,0 e 7,0) para calibrar o equipamento.

### 3.3. TRATAMENTO DE DADOS

Os ensaios de destilação foram monitorados através da determinação de curvas experimentais que avaliaram a relação entre os parâmetros operacionais (tempo, temperatura e volume) e as propriedades físico-químicas dos destilados (teor alcoólico, densidade e pH).

A concentração alcoólica em base mássica das soluções alcoólicas foi determinada teoricamente em valores de  $^0\text{INPM}$ , seguindo as orientações do IPEM/SP (2020), pois é uma medida padrão adotada pela indústria de álcool para a concentração de suas soluções (ANP, 2015). A densidade dos destilados alcoólicos também foi estimada teoricamente através de suas concentrações alcoólicas, baseada na mistura binária etanol-água (IPEM/SP, 2020), para se obter uma estimativa sobre pureza desses produtos em relação ao etanol hidratado comparando seus resultados com os obtidos experimentalmente. A concentração alcoólica das misturas de determinado volume destilados coletados foi obtida teoricamente através das relações de diluição de mistura (HARRIS, 2012) para a estimativa do volume dos produtos alcoólicos requeridos.

Foi elaborado um parâmetro de rendimento para avaliar o desempenho da destilação, denominado de rendimento operacional, expresso pela relação volumétrica entre o volume de álcool anidro presente na mistura e no seu destilado, representando o volume de álcool extraído, e calculado através da Equação 1.

$$RO = \left[ \frac{V_{destilado} \times \left( \frac{^0\text{GL}_{destilado}}{100} \right)}{V_{mistura} \times \left( \frac{^0\text{GL}_{mistura}}{100} \right)} \right] \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

onde: RO é o rendimento operacional volumétrico de álcool anidro extraído (%); V é o volume de solução (litros); °GL é a concentração volumétrica percentual de álcool na solução ou graus *Gay-Lussac*.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA MISTURA DE UÍSQUE

Os resultados das determinações de graduação alcoólica, pH, densidade e do volume utilizado da mistura de uísque estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Volume, concentração alcoólica, pH e densidade da mistura de uísque

Descarte alcoólico	Volume (litros)	Concentração alcoólica (°GL)	pH	Densidade (g/cm³)
Mistura de uísque	180	42,0 ± 1,0	4,02 ± 0,09	0,947 ± 0,003

Fonte: Autor (2022).

Os valores das propriedades físico-químicas da mistura de uísque demonstrados na Tabela 1 indicam que esta solução é similar ao uísque comercializado no mercado varejista brasileiro, pois estão nas faixas informadas por Russell, Bamforth e Stewart (2003) para esse tipo de destilado alcoólico, as quais são de 40 a 44 °GL, pH 4,0 a 4,5 e densidade 0,900 a 0,970 g/cm³, respectivamente.

### 4.2. ENSAIOS DE DESTILAÇÃO NA COLUNA EXPERIMENTAL PILOTO

Os resultados operacionais (volumes do destilado e da solução descarte, tempo e temperatura, rendimento operacional) e das propriedades físico-químicas (concentração alcoólica, pH, densidade) das soluções obtidas nos ensaios de destilação da mistura de uísque estão apresentados no Quadro 1. A notação desses parâmetros apresentadas no Quadro 1 se referem as seguintes situações:

- Tempo operacional: é o tempo total do ensaio, contemplando os períodos de aquecimento e de destilação da mistura alcoólica.
- Tempo de destilação: está relacionado apenas ao período de coleta de destilado.
- Solução descarte: representa a solução remanescente da mistura de uísque que permanece na caldeira da coluna experimental de destilação após o término da destilação. A finalização da destilação ocorre com o estancamento, término da coleta de destilado para a faixa de temperatura operacional utilizada (82 a 94 °C).
- Resultados de pH, concentração alcoólica, densidade e temperatura operacional: São valores médios dos dados pontuais de coleta avaliados no decorrer do ensaio de destilação.

**Quadro 1:** Resultados dos parâmetros operacionais e das propriedades físico-químicas das soluções obtidas nos ensaios de destilação

Ensaios	tempo (min)		Volume de solução (L)	Concentração alcoólica <sup>i</sup> (°GL)		pH destilados <sup>i</sup> (valor abs.)	Densidade destilados <sup>i</sup> (g/cm <sup>3</sup> )	Temperatura operacional <sup>i</sup> (°C)	Rendimento operacional RO (%)	
	Operacional	Destilação		Destilado	Descarte					
1 <sup>a</sup> Destilação	124,0	95,0	7,743	12,000	78,3	12,0	5,62	0,8645	86,9	72,2
2 <sup>a</sup> Destilação	110,0	80,0	9,000	10,700	76,3	10,7	5,44	0,8707	84,8	66,7
3 <sup>a</sup> Destilação	111,0	83,0	8,485	11,200	75,6	11,2	5,45	0,8723	85,4	78,3
4 <sup>a</sup> Destilação	135,0	104,0	8,485	11,200	74,9	11,2	5,41	0,8724	86,9	77,5
5 <sup>a</sup> Destilação	119,0	86,0	8,485	11,200	75,2	11,2	5,54	0,8709	85,6	74,2
6 <sup>a</sup> Destilação	105,0	74,0	7,750	11,900	75,9	11,9	5,70	0,8691	87,8	68,4
7 <sup>a</sup> Destilação	101,0	71,0	8,000	11,700	76,9	11,7	5,86	0,8670	86,7	75,0
8 <sup>a</sup> Destilação	103,0	73,0	7,250	12,400	77,7	12,4	6,00	0,8659	86,9	68,7
9 <sup>a</sup> Destilação	101,0	71,0	7,500	12,200	78,0	12,2	5,75	0,8631	88,8	68,1
<b>Média dos Resultados</b>	<b>112,1</b>	<b>81,9</b>	<b>8,078</b>	<b>11,611</b>	<b>76,5</b>	<b>12,1</b>	<b>5,64</b>	<b>0,8684</b>	<b>86,6</b>	<b>72,1</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>11,7</b>	<b>11,5</b>	<b>0,569</b>	<b>0,564</b>	<b>1,3</b>	<b>0,9</b>	<b>0,20</b>	<b>0,0034</b>	<b>1,2</b>	<b>4,4</b>

<sup>i</sup>Valores da média dos resultados experimentais pontuais obtidos do material coletado no decorrer da destilação da mistura de uísque.

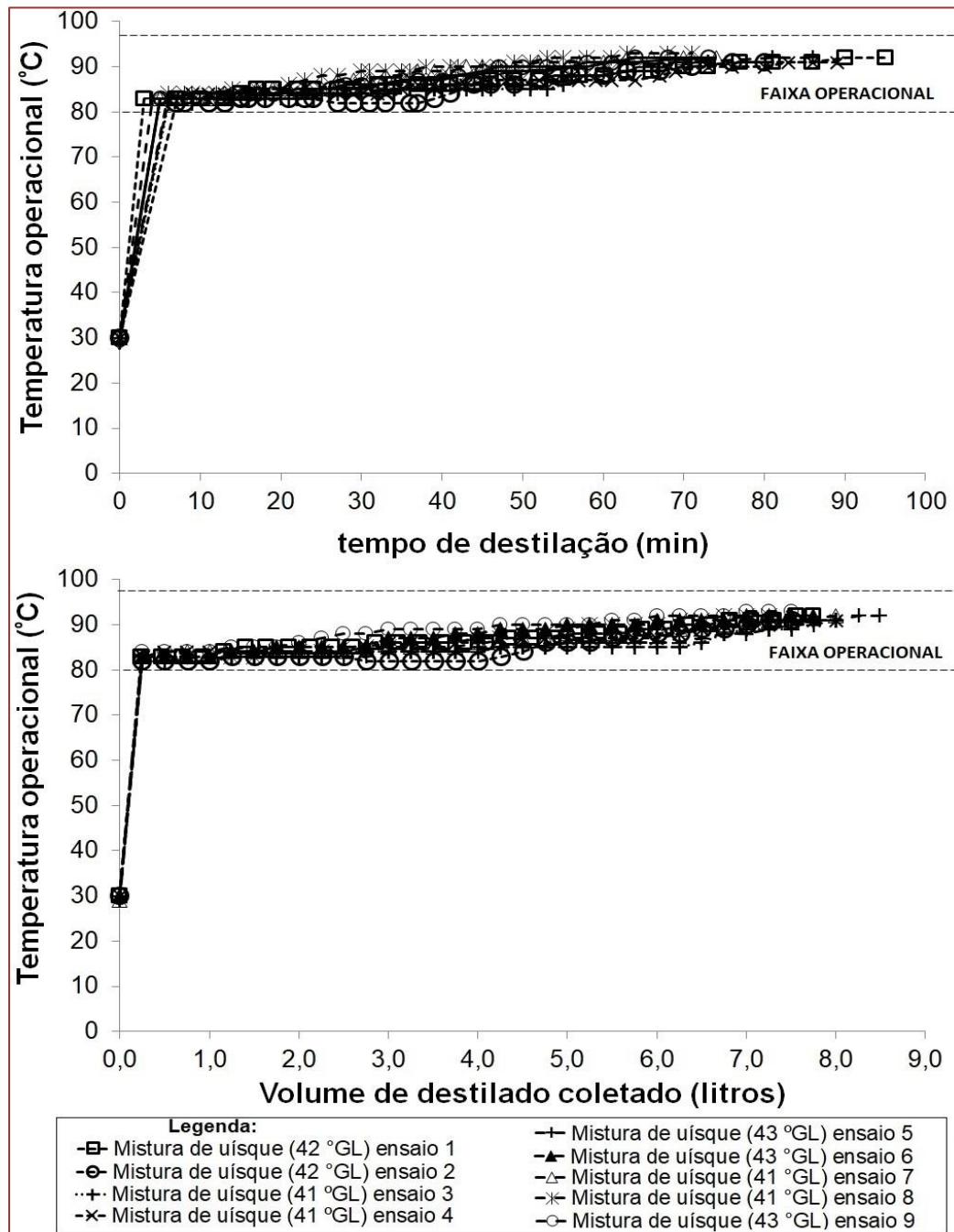
Fonte: Autor (2022).

Os resultados do Quadro 1 demonstram uma diferença de cerca de 30 min entre os tempos de destilação e operacional, representada pelo período de aquecimento da mistura de uísque até a produção de destilado. Ocorreu uma pequena perda volumétrica da solução alcoólica inicial de aproximadamente 300 mL, a qual pode estar relacionada a retenção de material no vaso de destilação, derrame accidental da solução, perdas por evaporação e outras. A concentração alcoólica dos destilados apresentou um valor médio próximo da faixa desejada de 78 a 80 °GL e a solução descarte também apresentou um conteúdo alcoólico representativo, aproveitável, a qual pode ser utilizada em novas misturas alcoólicas mais concentradas. O valor médio do pH do destilado está abaixo da faixa desejável (6,0 a 7,0) devido, provavelmente, a característica mais ácida da sua fração final coletada, a qual deve ser descartada na realização da mistura dos destilados coletados e produção das soluções alcoólicas desejadas, conforme suas respectivas faixas de concentrações alcoólicas definidas (69 a 71 °GL e 78 a 80 °GL). O volume da solução descarte foi superior ao volume dos destilados obtidos. Porém, o volume de álcool presente nos destilados é muito superior ao presente nessa solução remanescente, cujos respectivos valores são iguais a 6,2 litros e 1,3 litros.

Os resultados do rendimento operacional de extração de álcool da mistura de uísque apresentados nos ensaios de destilação são satisfatórios, obtendo-se o máximo possível de destilado para faixa operacional fixada (82 a 94 °C). Evitou-se operar com temperaturas muito próximas do ponto de ebullição da água (100 °C) para restringir o arraste de compostos indesejáveis, pois observou-se que após breve estancamento de coleta de destilado a temperatura operacional aumentava abruptamente 2 ou 3 °C, produzindo um destilado viscoso com uma tonalidade variando de branco a amarelada e exalando um aroma característico de uísque.

O comportamento dos parâmetros apresentados no Quadro 1 pode ser visualizado através de diagramas gráficos de suas relações. A Figura 3 apresenta as relações da temperatura com o tempo de destilação e com o volume de destilado.

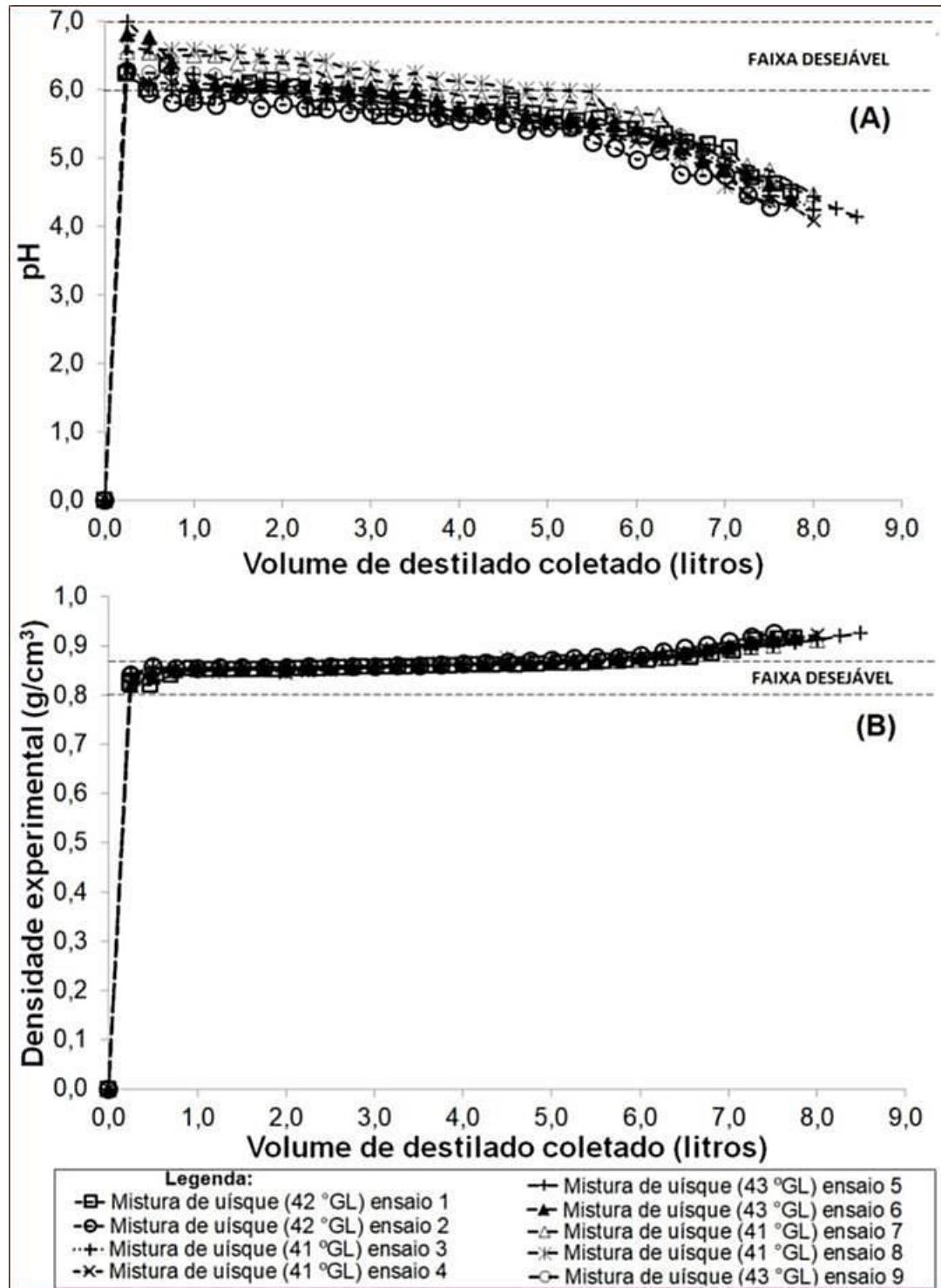
**Figura 3:** Relações da temperatura operacional com o tempo de destilação (Figura 3A) e com o volume de coleta de destilado (Figura 3B)



Fonte: Autor (2022).

Verifica-se na Figura 3 que o comportamento das variações da temperatura operacional em relação ao tempo de destilação e ao volume de coleta de destilado é similar, cujo aumento da temperatura da solução no vaso ao longo da operação para produção de destilado é um mecanismo característico deste tipo de destilação diferencial, conforme Geankoplis (2011). A Figura 4 demonstra as relações do volume da coleta de destilado com o pH (Figura 4A) e a densidade (Figura 4B), determinada experimentalmente através de picnometria líquida.

**Figura 4:** Relações do volume de coleta de destilados com o seu pH (Figura 4A) e a sua densidade experimental (Figura 4B)



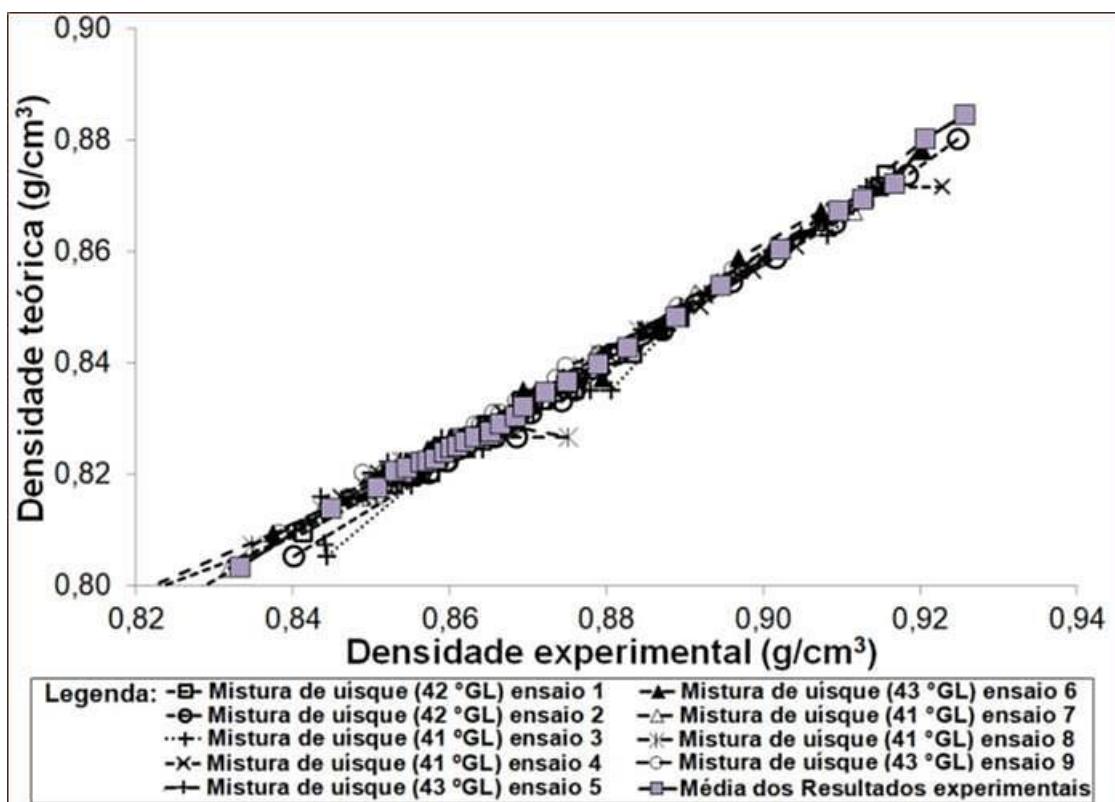
Fonte: Autor (2022).

Uma quantidade volumétrica significativa dos destilados produzidos na coluna experimental piloto apresentou valores de pH e densidade na faixa desejável indicada para a produção de álcool hidratado concentrado, produto com maior concentração de álcool, na faixa de 78 a 80 °GL, conforme indicam os resultados das Figura 4. Observa-se que a última fração de destilado coletado, obtido a partir de seis (6) litros de produto, se caracteriza como um produto de menor qualidade, um álcool residual, apresentando os maiores valores de densidade e os menores de pH. Esta solução alcoólica deve ser excluída da

composição das misturas alcoólicas de maior e menor concentração, cujas concentrações médias são iguais 79 °GL e 70 °GL, respectivamente.

Foi realizada uma averiguação dos resultados experimentais de densidade através do levantamento de resultados estimados teoricamente, que calcula a densidade da mistura binária etanol-álcool utilizando os valores de sua concentração alcoólica e os valores da literatura das densidades destes componentes puros a temperatura ambiente local de 29 °C (SOUTHARD; ROWLEY; WILDING, 2019). A relação entre os resultados experimentais e os estimados teoricamente para a densidade dos destilados estão apresentados na Figura 5.

**Figura 5:** Relação entre os resultados experimentais e os estimados teoricamente para a densidade dos destilados a 29 °C

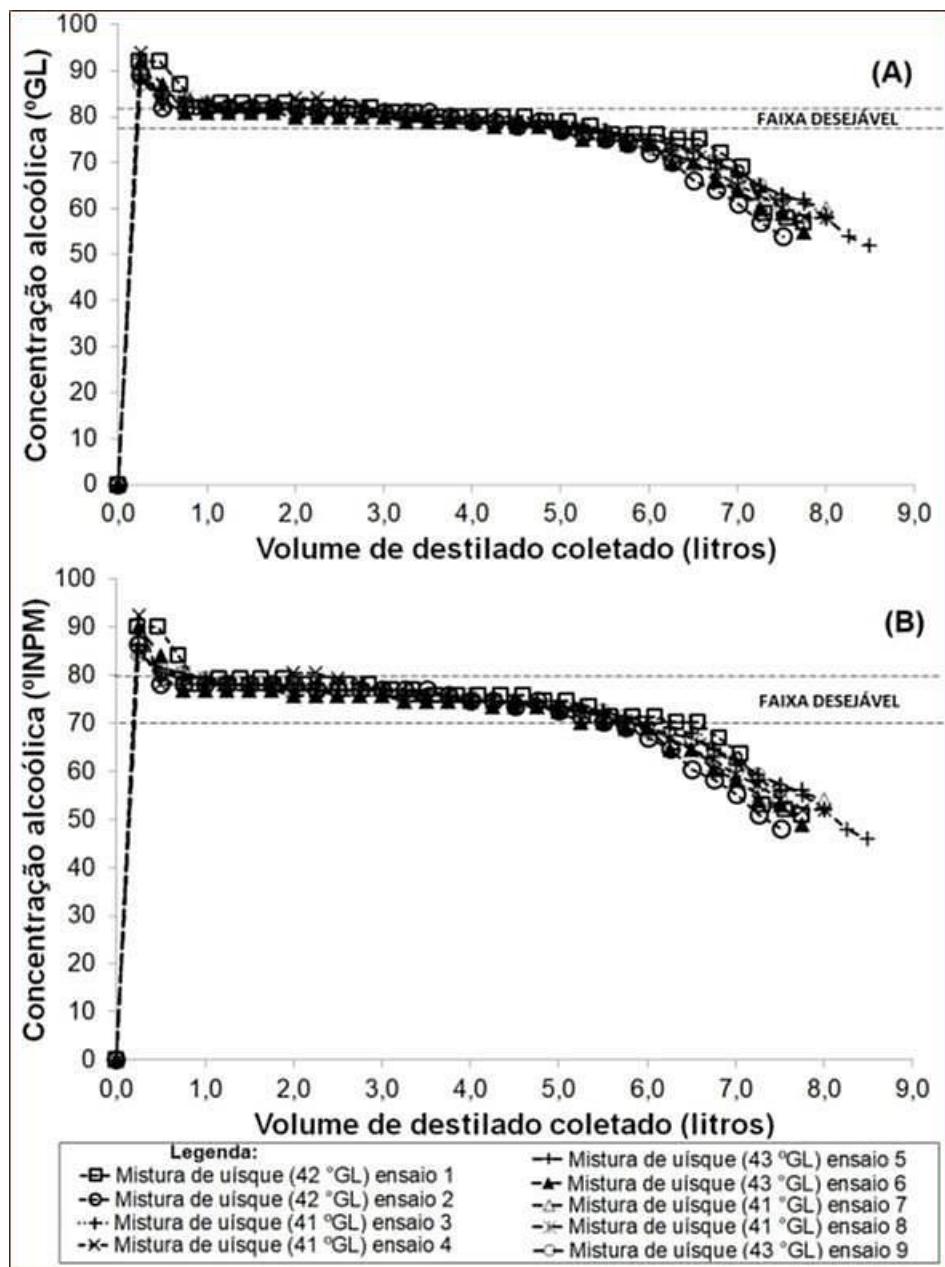


Fonte: Autor (2022).

Verificou-se um desvio de 4,2% entre os resultados experimentais e os estimados teoricamente, os quais apresentam um comportamento de variação linear constante demonstrado na Figura 5. Os valores experimentais são superiores aos teóricos, estimados para mistura binária etanol e água, puros. Uma suposição inicial para este fato é que os destilados devem apresentar outros compostos diferentes desses componentes. No entanto, como essa diferença é pequena, inferior a 5%, pode-se presumir que a composição dos destilados é constituída, predominantemente, de uma mistura de etanol e água.

A relação da concentração alcoólica com o volume de destilado coletado está demonstrada na Figura 6, expressa em °GL (Figura 6A) e em °INPM (Figura 6B).

**Figura 6:** Relação da concentração alcoólica com o volume de destilado coletado, expressa em °GL (Figura 6A) e em °INPM (Figura 6B)

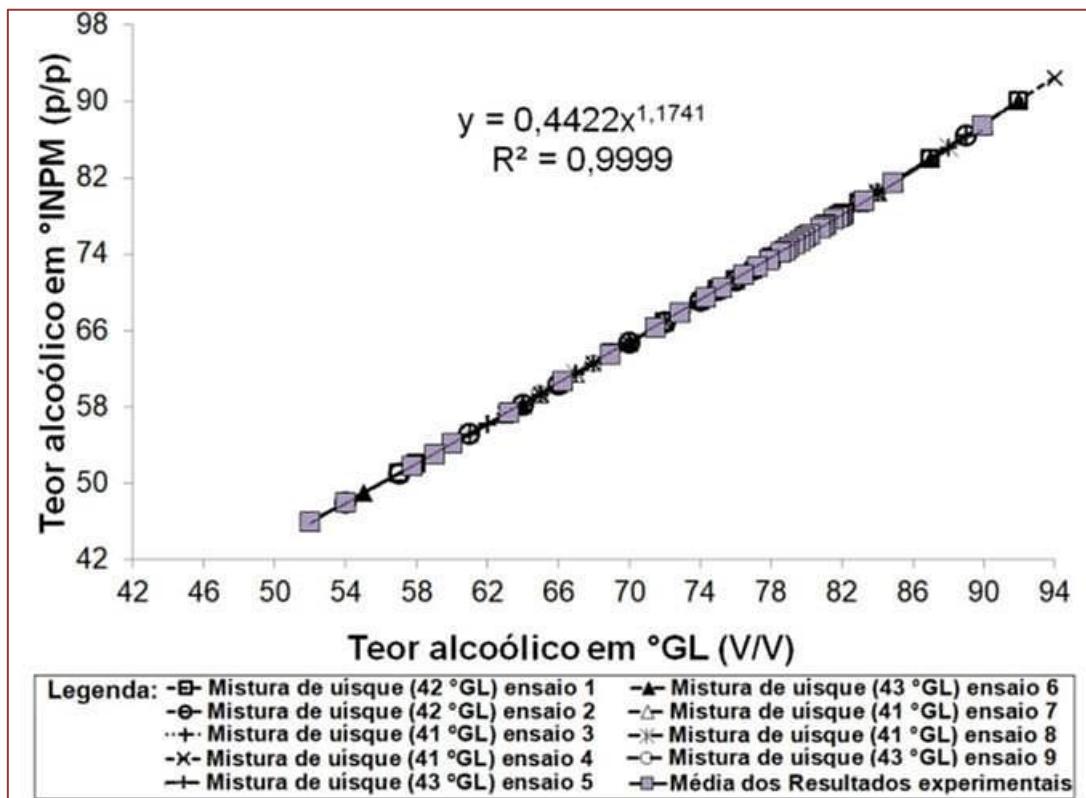


Fonte: Autor (2022).

Observa-se, novamente na Figura 6 que a maior parte da quantidade volumétrica dos destilados apresenta resultados de concentração alcoólica na faixa desejável para produção dos sanitizantes propostos. O produto obtido a partir de seis (6) litros de coleta é o álcool residual que deve ser destinado a elaboração de uma terceira mistura alcoólica, a qual deve ser submetida a outro tratamento físico e/ou químico para melhorar sua qualidade comercial.

Verifica-se que existe uma defasagem dos resultados de concentração alcoólica mássica (°INPM) em relação a volumétrica (°GL), já prevista por Cipriano et al. (2021), cuja relação pode delinear uma expressão empírica, uma correlação experimental, para se obter a transformação dos valores de °GL em °INPM, a qual está apresentada na Figura 7.

**Figura 7:** Relação entre os valores de concentração alcoólica dos destilados coletados expressos em °GL e °INPM a 29 °C



Fonte: Autor (2022).

A relação entre os resultados de concentração alcoólica dos destilados expressos em °GL e em °INPM apresenta um comportamento exponencial, o qual segue a lei de potência, conforme o ajuste matemático apresentado na Figura 7, demonstrado pelo expressivo valor do seu coeficiente de correlação ( $R^2$ ) de 99,99%. Portanto, pode-se utilizar a correlação apresentada na Figura 7, expressa pela Equação 2, para se estimar mais facilmente a concentração alcoólica em termos mássicos, °INPM, a qual não é obtida através dos usuais densímetros com escala *Gay-Lussac* (°GL) utilizados para verificar o teor alcoólico de soluções alcoólicas.

$$^{\circ}\text{INPM} = 0,4422 \times ^{\circ}\text{GL}^{1,1741} \quad \text{Eq. 2}$$

onde: °INPM expressa a concentração mássica de álcool na solução; °GL é a concentração volumétrica de álcool na solução.

#### 4.3. MISTURA DOS DESTILADOS E PRODUÇÃO DAS SOLUÇÕES ALCOÓLICAS

As informações do monitoramento operacional e das propriedades físico-químicas dos destilados coletados, principalmente de volume e de concentração alcoólica, indicam a possibilidade de elaboração das misturas alcoólicas para três tipos de produto, sendo estes:

- **Álcool hidratado mais concentrado:** é o produto idealizado para uso como desinfetante de superfícies e materiais, pois deve ter uma concentração alcoólica mínima de 70 °INPM, a qual equivale a um valor na faixa de 77 a 78 °GL, e apresentar ação de eliminação/inibição da atividade microbiana, principalmente de bactérias e vírus. Para a produção desta solução alcoólica devem ser misturados todos os destilados com concentração alcoólica superior a 75 °GL.
- **Álcool hidratado menos concentrado:** é o produto para ser utilizado como sanitizante devido a sua menor concentração alcoólica, arbitrada para uma faixa de 69 a 71 °GL que equivale a 64 °INPM, e indicado para redução da atividade microbiana. Os destilados com concentração alcoólica na faixa de 75 a 64 °GL devem ser utilizados na composição da mistura e produção desse tipo de solução alcoólica.

➤ **Álcool Residual:** É o produto obtido nas fases finais de coleta de destilados, apresentando características físicas (cor amarelada) e químicas (baixo pH, aroma de uísque) inconformes com os requisitos estipulados para o álcool hidratado desejado, do tipo sanitizante/desinfetante (ANP, 2015). Devem ser utilizados todos os destilados coletados que apresentam concentração alcoólica igual ou inferior a 63 °GL.

Assim, foi realizada a estimativa da produção volumétrica destas soluções alcoólicas para todo material coletado em cada ensaio e em todos ensaios de destilação realizados e para todo material produzido nestes experimentos (volume de destilados e de solução descarte). Esta estimativa foi acompanhada da determinação das concentrações alcoólicas destas soluções e da proporção volumétrica das mesmas baseadas no volume de destilado coletado (Total Parcial I), no volume de solução produzida (Total Parcial II) e no volume total de mistura de uísque utilizada (Total Geral).

O Quadro 2 apresenta as estimativas volumétricas para as misturas dos destilados que produzirão os três tipos de álcool hidratado arbitrados (mais concentrado, menos concentrado e residual) obtidos em cada e em todos os ensaios de destilação realizados. As informações do volume da solução descarte e da mistura de uísque envolvidas nestes experimentos também estão demostrados neste quadro, assim como, os valores do teor alcoólico de todas soluções alcoólicas apresentadas no mesmo.

**Quadro 2:** Estimativas volumétricas das misturas dos destilados destinadas a produção de diferentes tipos de álcool hidratado, baseados no seu teor alcoólico, obtidos nos ensaios de destilação e os volumes das demais soluções alcoólicas envolvidas nesses experimentos.

Ensaio	Álcool Mais Concentrado		Álcool Menos Concentrado		Álcool Residual		Solução Descarte		Materia-prima					
	Volume (L)	Teor alcoólico (°GL)	Volume (L)	Teor alcoólico (°GL)	Volume (L)	Teor alcoólico (°GL)	Volume (L)	Teor alcoólico (°GL)	Volume (L)	Teor alcoólico (°GL)				
1 <sup>a</sup> Destilação	6,569	81,0	0,488	70,5	0,686	58,1	12,000	12,5	20	42				
2 <sup>a</sup> Destilação	5,510	80,5	1,250	69,2	0,750	57,3	10,700	10,0	20	43				
3 <sup>a</sup> Destilação	6,500	80,1	0,750	67,0	1,235	57,7	11,200	12,0	20	41				
4 <sup>a</sup> Destilação	5,750	80,9	1,250	69,8	1,485	55,9	11,200	12,0	20	41				
5 <sup>a</sup> Destilação	6,000	80,0	1,250	70,0	1,235	57,7	11,200	12,0	20	43				
6 <sup>a</sup> Destilação	5,500	80,0	1,500	69,7	0,750	58,0	11,900	12,0	20	43				
7 <sup>a</sup> Destilação	6,000	80,4	1,250	69,6	0,750	61,3	11,700	13,0	20	41				
8 <sup>a</sup> Destilação	5,500	80,6	1,500	70,0	0,250	61,0	12,400	12,0	20	41				
9 <sup>a</sup> Destilação	5,750	80,8	1,500	70,3	0,250	60,0	12,200	13,0	20	43				
<b>Média Resultados</b>	<b>5,898</b>	<b>80,5</b>	<b>1,193</b>	<b>69,6</b>	<b>0,821</b>	<b>58,6</b>	<b>11,611</b>	<b>12,1</b>	<b>20</b>	<b>42</b>				
Desvio Padrão	0,410	0,4	0,352	1,0	0,429	1,8	0,564	0,9	0	1				
<b>Total Parcial I e %Volumétrica</b>	<b>53,08 litros e 74,54%</b>		<b>10,74 litros e 15,08%</b>		<b>7,39 litros e 10,38%</b>		<b>Soluções excluídas<sup>i</sup></b>							
<b>Total Parcial II e %Volumétrica</b>	<b>71,21 litros e 39,56%</b>						<b>104,50 litros e 58,06%</b>	<b>Solução excluída<sup>i</sup></b>						
<b>Total Geral e %Volumétrica</b>	<b>175,71 litros e 97,62%</b>								<b>180 litros e 100%</b>					

<sup>i</sup>Soluções excluídas para a determinação da %Volumétrica dos Totais Parciais I e II, baseadas, respectivamente, nos volumes dos destilados coletados (I) e de toda solução produzida (II) nos ensaios de destilação da mistura de uísque.

Fonte: Autor (2022).

Os resultados do Quadro 2 demonstram que a maior percentagem volumétrica dos destilados coletados (74,54%) pode ser destinada a produção do álcool mais concentrado, o qual é o produto desejado para a produção de desinfetante. A quantidade volumétrica de álcool residual foi a menor em relação as demais soluções alcoólicas produzidas (10,38%), justificando o desejável rendimento operacional obtido (72%). A quantidade esperada de álcool menos concentrada também foi pequena (15,08%), corroborando para obtenção desse desejável rendimento operacional.

Observa-se novamente a desigualdade volumétrica da relação solução utilizada (mistura de uísque) e produzida (destilados coletados e solução descarte), indicando mais perdas de material, possivelmente da coleta do produto até o seu acondicionamento. Verifica-se também, a maior produção de solução descarte em relação a quantidade de destilado coletada, fato que está relacionado a faixa de temperatura utilizada para a coleta de destilado e as suas características físico-químicas adequadas para a produção dos tipos de álcool hidratado desejáveis.

Após essa estimativa volumétrica para produção dos três tipos de álcool propostos foram realizadas as misturas das frações alcoólicas obtidas em todos os ensaios de destilação, cujos resultados de quantidade volumétrica, concentração alcoólica, pH e densidade estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2:** Volume, concentração alcoólica, pH e densidade dos três tipos de álcool hidratado produzidos pela mistura dos destilados coletados nos ensaios de destilação da mistura de uísque

Tipo Álcool hidratado	Volume (litros)	Concentração alcoólica:		pH	Densidade (g/cm <sup>3</sup> ):	
		°GL	°INPM <sup>i</sup>		Experimental	Teórica <sup>i</sup>
<b>Mais Concentrado</b>	53,0	78,0	73,6	6,17	0,8659	0,8288
<b>Menos Concentrado</b>	10,5	71,0	65,8	5,74	0,8841	0,8438
<b>Residual</b>	8,25	57,0	51,0	4,86	0,9166	0,8738

<sup>i</sup>Valores estimados por equações físico-matemáticas.

Fonte: Autor (2022).

Verifica-se na Tabela 2 que os volumes dos três tipos de álcool hidratado produzidos através das misturas das frações alcoólicas dos destilados coletados são similares aos propostos pela estimativa volumétrica apresentada no Quadro 2. As proporções volumétricas destes produtos em relação ao volume total de destilado coletado são iguais a 72,16% de álcool mais concentrado (78 °GL), 16,49% de álcool menos concentrado (71 °GL) e 11,34% de álcool residual (57 °GL).

O volume total do álcool produzido apresentou um pequeno acréscimo volumétrico de 0,5 litros em relação ao volume estimado de destilados coletados apresentado no Quadro 2, representando um pequeno desvio de 0,76%. Isso pode ser decorrente da incorporação de água nos destilados coletados durante a sua manipulação e acondicionamento. Ocorreu também, um pequeno decréscimo na concentração da mistura alcoólica da fração mais concentrada em relação ao seu valor estimado (80 °GL), provavelmente, devido as perdas evaporativas de álcool dos destilados mais concentrado para o meio ambiente durante sua manipulação em atividades analíticas experimentais.

## 5. CONCLUSÃO

A destilação da mistura de uísque na coluna piloto experimental apresentou um rendimento em extração de álcool anidro representativo e igual a 72%, resultando em uma produção de 71,75 litros de solução alcoólica.

A maior quantidade de álcool hidratado produzido foi do tipo álcool mais concentrado (72,2%), cujo teor alcoólico, pH e densidade são iguais a 78 °GL (73,6 °INPM), 6,17 e 0,823 g/cm<sup>3</sup>. O volume final desse produto foi de 53 litros, o qual pode ser destinado ao uso como desinfetante de superfícies e materiais.

O álcool menos concentrado apresentou um teor alcoólico de 71 °GL (61,8 °INPM) e uma menor proporção volumétrica igual a 16,5%. Seu volume total foi de 10,5 litros e seu pH igual a 5,74, podendo ser utilizado como sanitizante.

A destilação da mistura de uísque produziu um álcool residual com características físico-químicas indesejáveis para produção de sanitizantes, o qual representa 11,3% do volume total de destilado coletado, com teor alcoólico, pH e densidade iguais a 51 °GL, 4,86 e 0,916 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- [1] ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5992: Informação e documentação: Referências. p. 24. Rio de Janeiro, 2008.
- [2] ANP. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. REGULAMENTO TÉCNICO ANP Nº 3/2015, 2015. 49 p.
- [3] BASTOS, V. D. Etanol, alcoolquímica e biorrefinaria. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 25, p. 5 - 38, março, 2007.
- [4] BONFIM-ROCHA, L.; MOREIRA, W. M.; LIMA, O. M. Simulação rigorosa de colunas de destilação em aspen plus® para produção de etanol hidratado e etanol anidro. In: III Encontro de Pesquisa da FATEB. Telêmaco Borba-PR. v. 2. p. 491 – 511, 2016.
- [5] CIPRIANO, E. MAJOR, T.; PESSELA, B.; BARROS, A. A. C. Produção de álcool etílico anidro a partir da hidrólise e fermentação alcoólica do amido de milho. In: BARROS, C.; FRANCISCO, R.; MATOS, BAPTISTA, A.; SOLO, M.; FRANCISCO, V. IV Congresso Internacional da Ordem dos Engenheiros de Angola. Luanda, p. 43 – 54, 2021.
- [6] DINIZ, D. dos S. Produção de álcool etílico utilizando como matérias primas resíduos florestais e agrícolas. 2008. Dissertação (Bioenergia) — Universidade Nova de Lisboa, 2008. 231 p.
- [7] DOMINGUES, P. F.; RICCI, G. D.; ORSI, A. M. Desinfecção e Desinfetantes. Suínos & Cia, Consuitec, Campinas, v. 7, n. 41, p. 30 – 37, 2011.
- [8] GEANKOPLIS, C.J. Transport processes and separation process principles (includes unit operations), 4a edition, Prentice Hall P T R, Englewood Cliffs, New Jersey, 2011. 1056 p.
- [9] GENEROSO, B. R. Simulação de uma coluna de destilação para produção de etanol hidratado e análise de perdas na vinhaça e pureza do etanol produzido. 2021. Monografia (Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos, 2021. 39 p.
- [10] HARRIS, D. C. Análise química quantitativa. 8ª Edição. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 934 p.
- [11] IPEM/SP. Álcool gel: assepsia bem a mão. Cidadania, Conceitos de metrologia, Almanaque de Metrologia, Março, 2020.
- [12] KAMPF, G; TODT, D.; PFAENDER, S.; STEINMANN, E. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. Journal of Hospital Infection, v. 104, n. 3, p. 246–251, 2020.
- [13] KICH, J. D., BOROWSKY, L. M., SILVA, V. S., RAMENZONI, M., TRIQUES, N., KOOLER, F. L., & CARDOSO, M. R. de I. (2018). Avaliação da atividade antibacteriana de seis desinfetantes comerciais frente a amostras de SalmonelOs aspectos relacionados a biossegurança, limpeza e desinfecção são os principais componentes de programasla Typhimurium isoladas de suínos. Acta Scientiae Veterinariae, vol. 32(1), p. 33–39, 2004.
- [14] MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 6871, de 4 de junho de 2009. Art. 12. Brasília, 2009.
- [15] MF. Ministério da Fazenda. Portaria MF Nº 282, de 9 de junho de 2011. Diário Oficial da União (DOU), Edição: 112, Seção: 1, Página: 24, Publicado em 13/06/2011.
- [16] MENEGARO, A.; FLORES, A. F.; SIMER, P.; DA SILVA, F. I.; SBARDELOTTO, P. R. R.; PINTO, E. P. Sanitizantes: concentrações e aplicabilidade na indústria de alimentos. Scientia Agraria Paranaensis, v. 15, n. 2, p. 171–174, 2016.
- [17] QUEIROGA, V. V.; FILGUEIRA, E. G. K.; VASCONCELOS, A. M. DE A.; PROCÓPIO, J. V. V.; GOMES, F. W. C.; GOMES, C. H. F. DE M.; GOMES FILHO, C. A. M.; JACÓ, A. P.; ARAUJO, J. M. B. G.; NÓBREGA, J. C. DA S.; NÓBREGA FILHO, M. M. DE S. A pandemia da Covid-19 e o aumento do consumo de álcool no Brasil. Research, Society and Development, 10(11), 2021. 7 p.
- [18] RAMOS, M. J., FERNANDES, P. A. O álcool contra a COVID-19. Revista de Ciência Elementar. Volume 8 (02):018, junho, p. 07-10, 2020.
- [19] RECEITA FEDERAL. Ministério da Fazenda (MF) - Delegacia da Receita Federal do Brasil em Santa Maria. Destinação Ambientalmente adequada de resíduos provenientes da destruição de bebidas

apreendidas pela Receita Federal. Repositório Institucional da Escola Nacional de Administração Pública (Enap), 2016. 20 p.

[20] RUSSELL, I.; BAMFORTH, C.; STEWART, G. Whisky: Technology, Production and Marketing. 1. ed. [S.I.]: Academic Press, 2003. v. 1. 629 p.

[21] SARTORI, E. R.; BATISTA, E. F.; SANTOS, V. B.; FATIBELLO-FILHO, O. Construção e Aplicação de um Destilador como Alternativa Simples e Criativa para a Compreensão dos Fenômenos Ocorridos no Processo de Destilação. Química Nova na Escola, Sociedade Brasileira de Química, v. 31, n. 1, p. 55 – 57, Fevereiro, 2009.

[22] SEQUINEL, R.; LENZA, G.F., SILVA, F. J. L. B.; SILVA, F. R. Soluções a base de álcool para higienização das mãos e superfícies na prevenção da Covid-19: compêndio informativo sob o ponto de vista da química envolvida. Química Nova, v. 43, n. 5, p. 679-684, 2020.

[23] SOUTHARD, M. Z.; ROWLEY, R. L.; WILDING, W. V. Physical and Chemical Data. In: GREEN, D. W.; SOUTHARD, M. Z. Perry's Chemical Engineer's Handbook, 9th edition, chapter 2, 2019. 2272 p.

[24] VIANA, F. L. E. Indústria de bebidas alcoólicas. Caderno Setorial ETENE. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 2, n. 2, fev. 2017.14 p.

[25] VOLKHARDT, P.; SHORE, N. Química Orgânica: Estrutura e Função. 6. ed. [S.I.]: bockman, 2013. 1391 p.

[26] WEBB, P.A. Volume and density determinations for particle technologists. Micromeritics Instrument Corporation, 2001. 16 p.

[27] ZARPELON, F. As especificações do álcool focadas para o mercado mundial. Repositório da Agência Embrapa de Informação Tecnológica - cnptia, 2002. 9 p.

# Capítulo 7

## *Estudo da recuperação do herbicida atrazina em águas naturais empregando Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE)*

*Pricília Santos Pereira Gomes*

*Luiza Maria Cerqueira Silva*

*Luciana Bagdeve de Oliveira dos Santos*

**Resumo:** Este trabalho foi desenvolvido com amostras de águas naturais das lagoas da Pindoba, parque Frei Monteiro e água tratada no município de Feira de Santana-BA. Seu objetivo foi desenvolver metodologias para recuperação do herbicida Atrazina (AT) e para separação de AT e quatro de seus produtos de degradação: a hidroxiatrazina (ATOH), desisopropilatrazina (DIA), desetilatrazina (DEA) e desetildeisopropilatrazina (DEDIA) empregando Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) usando colunas C18 e C18 monolítica. Em ambas as colunas, a eluição por gradiente foi a melhor condição para separação de todos os analitos em única análise. A repetitividade para os métodos empregando coluna C18 e C18 monolítica foi avaliada a partir de três medidas obtidas para soluções da atrazina e seus produtos de degradação 0,10 mg L<sup>-1</sup>, 1,0 mg L<sup>-1</sup> e 10 mgL<sup>-1</sup>, preparadas em meio tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>, nas condições otimizadas. Os coeficientes de variação obtidos foram inferiores a 5% para ambos os métodos e os resultados obtidos para recuperação de atrazina nas amostras de águas, mostraram recuperação acima de 82% do pesticida, no entanto, não foi detectado a presença de seus produtos de degradação nas determinações realizadas. Os métodos utilizando coluna C18 e C18 monolítica foram comparados empregando o teste “t” de Student para 95% de confiança, e uma vez que os valores de “t” obtidos foram menores que o “t” tabelado =2,78, podemos afirmar que não existem evidências de diferenças significativas entre os métodos empregados, sendo que as determinações obtidas por coluna monolítica apresentaram menores tempos de retenção e volumes de solventes em relação à C18.

**Palavras-chave:** HPLC; Coluna Monolítica; Produtos de degradação; Desetilatrazina (DEA); Desetildeisopropilatrazina (DEDIA).

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil é o maior consumidor de agrotóxicos ou pesticidas no mundo, desde 2008 (LOPES & ALBUQUERQUE, 2018). A lei brasileira nº 7.802 de 1989 define agrotóxicos como “substâncias químicas destinadas ao controle, destruição ou prevenção direta ou indiretamente, de agentes patogênicos para plantas e animais úteis e às pessoas” (BRASIL, 1989). Dentre os tipos de pesticidas mais comuns têm-se os inseticidas, fungicidas e herbicidas.

Herbicidas são empregados em grande quantidade no Brasil (33% do total), e são patógenos que alteram o processo metabólico de plantas indesejáveis, conhecidas como ervas daninhas (ZHANG et al., 2010; SANTOS, 2006). Quando em contato com a solução do solo, os herbicidas podem desencadear várias reações e interações químicas, inclusive alterar a fertilidade do solo e ainda o tamanho e o número de estômatos das plantas (LOPES & ALBUQUERQUE, 2018) (AZEVEDO et al, 2012; AZEVEDO, 2016).

Após serem depositados no solo, estes pesticidas podem ser lixiviados, entrando em contato com águas superficiais e subterrâneas, desencadeando novos impactos. Em contato com a água, podem gerar eutrofização, o que diminui o teor de Oxigênio Dissolvido (OD) e que pode ocasionar a morte de peixes. Atrelado a isso, pode ainda ocorrer a bioacumulação do composto, gerando problemas de saúde em níveis tróficos superiores (SCHMITT, 2006; PERES & MOREIRA, 2003). A via aérea também é uma importante forma de contaminação por agrotóxicos (SANTANA et al., 2013) e existem diversas morbidades que estão associadas ao uso destes compostos (LOPES & ALBUQUERQUE, 2018).

A atrazina (AT) é um dos herbicidas mais utilizados no mundo, compondo no Brasil segundo o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA), parte da lista dos 10 princípios ativos mais vendidos no período de 2009 a 2016, sendo o quarto mais vendido em 2016 (DIAS et al., 2018). O Valor Máximo Permitido (VMP) deste herbicida em águas potáveis pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é de  $2,0 \mu\text{g L}^{-1}$  (BRASIL, 2005) e é classificado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) como medianamente tóxico (Classe III), podendo atingir principalmente o sistema reprodutor e hormonal (BRASIL, 2018).

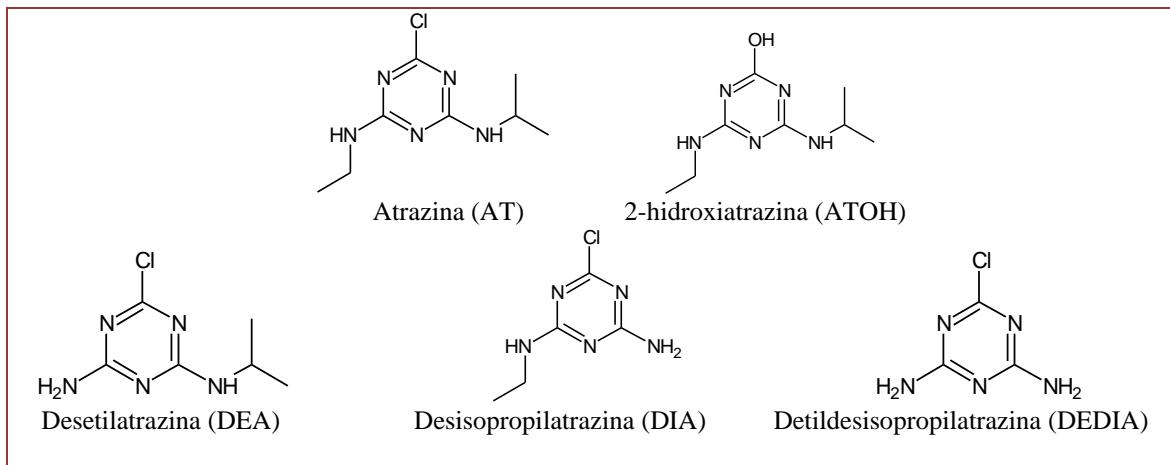
A AT pertence a classe das triazinas, é um herbicida de ação sistêmica, seletivo e empregado no controle de ervas daninhas (NORTOX, 2015), apresenta persistência em diferentes ambientes aquáticos e após sua aplicação pode sofrer degradação por três principais vias para formação dos produtos de degradação (Figura 1): a dealquilação biológica, a hidrólise química e hidrólise biológica (COELHO & BERNARDO, 2012) ocasionando a formação de triazinas desalquiladas e hidroxiladas, sendo mais tóxicos que o composto que lhe deram origem.

Quando em contato com o solo, cerca de 0,1% de todo o herbicida aplicado atinge o alvo específico desejado enquanto os 99,9% restantes podem adsorver no solo ou alcançar águas subterrâneas (SANTOS, 2006). AT é fracamente adsorvida no solo e apresenta hidrofilicidade média, o que facilita tanto sua lixiviação quanto o escoamento superficial (IUPAC, 2018). Devido a estas características, esperam-se maiores concentrações de AT em águas subterrâneas comparado com águas superficiais.

A hidrólise da ligação carbono-cloro da AT dá origem a 2-hidroxiatrazina (ATOH), comumente encontrada em solos e águas superficiais (Figura 1), devido à baixa solubilidade em água (WHO, 2017). De acordo com o citado por Dos SANTOS (2006, o tempo de meia vida para atrazina no solo é cerca de 60 dias. A desetilatrazina (DEA), o produto de degradação mais comum em águas superficiais e subterrâneas foi encontrada em concentrações de até  $2,76 \mu\text{L}^{-1}$  enquanto a desisopropilatrazina (DIA) e 2-hidroxiatrazina (ATOH) com concentrações de até 0,48 e  $0,97 \mu\text{L}^{-1}$ , respectivamente (COELHO e BERNARDO, 2017).

Alguns processos para remoção de atrazina em águas acabam dando origem aos seus produtos de degradação ao longo da reação química. Destacando-se a geração de DEA, DIA e DEDIA na ozonização catalítica e, na fotólise, observa-se a formação de ATOH (DIAS et al., 2018). No Brasil não há VMP para os subprodutos de AT em águas. As técnicas cromatográficas são largamente difundidas na detecção de pesticidas e neste trabalho empregou-se a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE) com colunas C<sub>18</sub> convencional e C<sub>18</sub> monolítica.

As colunas monolíticas (C<sub>18</sub>) surgem como alternativa às colunas C<sub>18</sub> convencionais pois apresentam estrutura interna sólida e altamente porosa, fornecendo alta permeabilidade e eficiência de coluna (FARIA et al., 2005). Além disso, diferenciam-se dos materiais convencionais de enchimento por possuírem uma única e distinta estrutura porosa, com macro e mesoporos em um único sólido. Por apresentarem uma estrutura com muitos macroporos, estes monólitos permitem alta permeabilidade da fase móvel, podendo ser empregados com altas vazões de fase móvel sem atingir altas pressões, enquanto as separações sucedem-se nos mesoporos (ABRANTES et al., 2006 apud SEGATO et al, 2009).

**Figura 1:** Estrutura química da Atrazina e seus produtos de degradação

A atrazina e seus produtos de degradação são importantes contaminantes do solo e principalmente de águas, sob esse prisma, o objetivo deste trabalho foi determinar o percentual de recuperação do herbicida atrazina (AT) com métodos otimizados para separação de AT e seus produtos de degradação 2-hidroxiatrazina (ATOH), desetilatrazina (DEA), desisopropilatrazina (DIA) e desetildeisopropilatrazina (DEDIA) em águas naturais e tratada, do município de Feira de Santana-BA, utilizando Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. COLETA DE ÁGUAS

Foram coletadas amostras de água das Lagoas do Parque Frei Monteiro e da Pindoba, além de água tratada (EMBASA) em Feira de Santana-BA. A coleta foi realizada de acordo com o procedimento de amostras simples (coletada de uma única vez) com coleta superficial (profundidade entre 0 e 30 cm) em recipientes de vidro de borossilicato com boca larga (1,0 L) como estabelece a NBR 9898/1987 (BRASIL, 1987). Para a água tratada, foi aplicado o teste de cavalete, ou seja, coletou-se a amostra logo após a torneira escolhida permanecer aberta por cerca de 3 minutos.

### 2.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS

As amostras de águas naturais foram caracterizadas por análises físico-químicas com o equipamento multiparâmetro modelo PCD 650, marca Oakton, *in loco*. Desse modo, obteve-se dados de pH, resistência, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e temperatura.

### 2.3. OTIMIZAÇÃO DO MÉTODO CROMATOGRÁFICO

Todos os reagentes utilizados neste trabalho foram de grau analítico (P.A) e todas as soluções de trabalho foram preparadas utilizando-se água deionizada. Preparou-se solução estoque dos pesticidas, cuja concentração foi de 1000 mgL<sup>-1</sup>, dissolvendo os padrões sólidos (Riedel de Haën, pureza >99%) em água deionizada. As soluções de trabalho foram preparadas através da tomada de alíquota da solução estoque, diluindo-as em água deionizada e meio tampão acetato, de modo a obter as concentrações desejadas.

Os experimentos de quantificação de Atrazina (AT), 2-hidroxiatrazina (ATOH), Desetilatrazina (DEA), Desisopropilatrazina (DIA) e Desetildeisopropilatrazina (DEDIA) foram realizados em Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência (HPLC), modelo LC-20AT da marca Shimadzu, com detector espectrofotométrico "Photodiode Array" modelo SPD-M20A e forno de colunas modelo CTO-20A para operar na faixa de temperatura ambiente +10°C a 85°C com precisão de +/- 0,1°C, a uma Coluna HP - Zorbax SB-C18, 4,6 x 150 mm, 3,5 µm e coluna C18 monolítica.

Os resíduos de atrazina e de seus metabólitos foram determinados empregando Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC), utilizando detector UV em comprimento de onda de 220 nm, coluna cromatográfica

$C_{18}$  convencional e  $C_{18}$  monolítica. As condições de fluxo e composição da fase móvel contendo acetonitrila (ACN) e tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>, foram otimizadas para obtenção da melhor condição de análise. Desenvolveu-se a otimização do método analítico procedendo-se com eluição isocrática e por gradiente linear.

## 2.4. FORMAÇÃO DOS PRODUTOS DE DEGRADAÇÃO

O acompanhamento de formação de produtos de degradação foi realizado a partir da exposição de atrazina nas amostras de águas coletadas durante o período de 51 dias. A contaminação foi realizada com 1 mL de atrazina 50 mg L<sup>-1</sup>, resultando em solução 0,50 mg L<sup>-1</sup>. O mesmo volume das amostras, sem a adição de atrazina, também foi mantido nas mesmas condições de exposição, como controle ou branco.

## 3. RESULTADOS

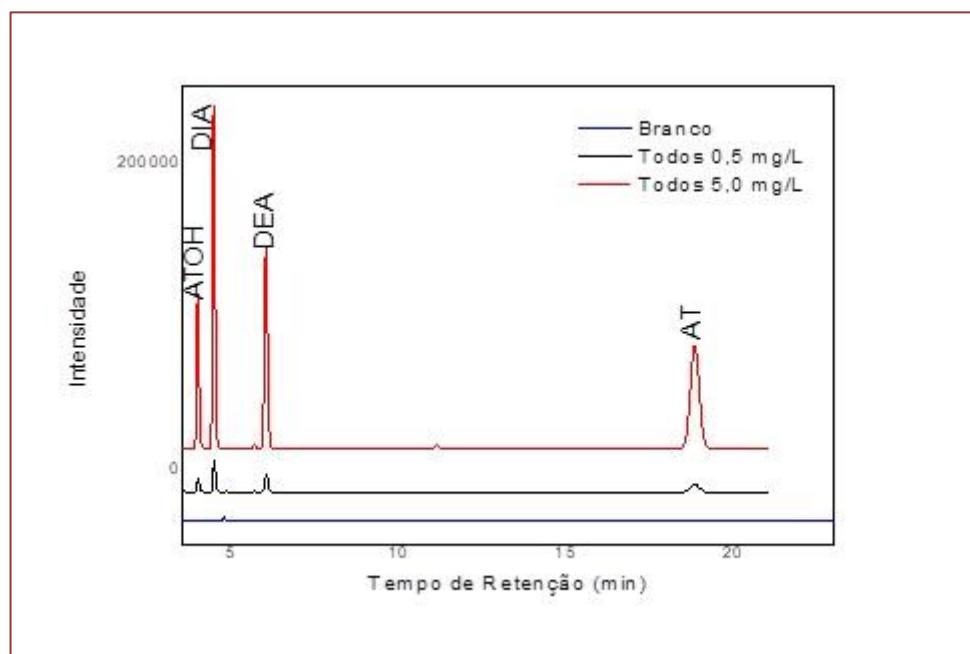
### 3.1. COLUNA C18

#### 3.1.1. ELUIÇÃO ISOCRÁTICA

As análises foram iniciadas utilizando condições de metodologia apresentada na literatura (ZARPON et al, 2006), onde foram injetadas soluções de concentrações 0,50 e 5,0 mg L<sup>-1</sup> contendo todos os pesticidas, preparadas em meio de tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>. Utilizou-se como eluente da fase móvel, em modo isocrático, a acetonitrila (ACN) e solução de tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>, na proporção de 35/65, respectivamente, a uma vazão de 1,0 mL min<sup>-1</sup> e temperatura da coluna (TC) mantida a 40º C (Figura 2). Nessas condições, obteve-se os seguintes tempos de retenção para os produtos de degradação: 2-hidroxiatrazina (ATOH) em 3,99 min, Desisopropilatrazina (DIA) em 4,46 min e, por fim, a desetilatrazina (DEA) em 6,02 min.

Essa condição de eluição apresentou baixos tempos de retenção e boa resolução na separação de ATOH, DEA e DIA (Figura 2). No entanto, a desetildeisopropilatrazina (DEDIA) saiu no volume morto e a atrazina (AT) em 18,78 min.

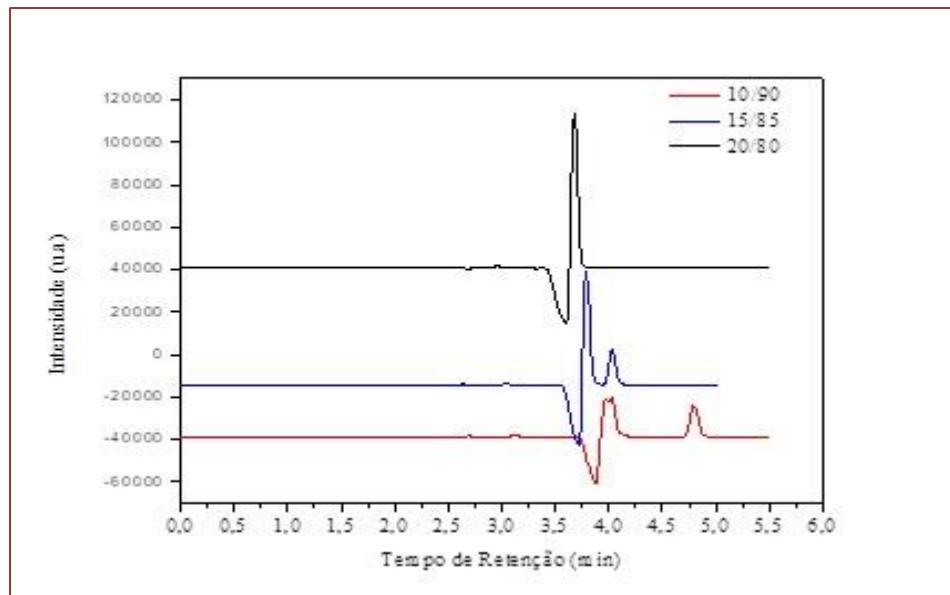
**Figura 2:** Separação cromatográfica de AT, DEA, DIA, DEDIA E ATOH com C18, fase móvel acetonitrila e tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup> (35/65), Vazão de fase móvel = 1,0 mL min<sup>-1</sup>, TC = 40ºC



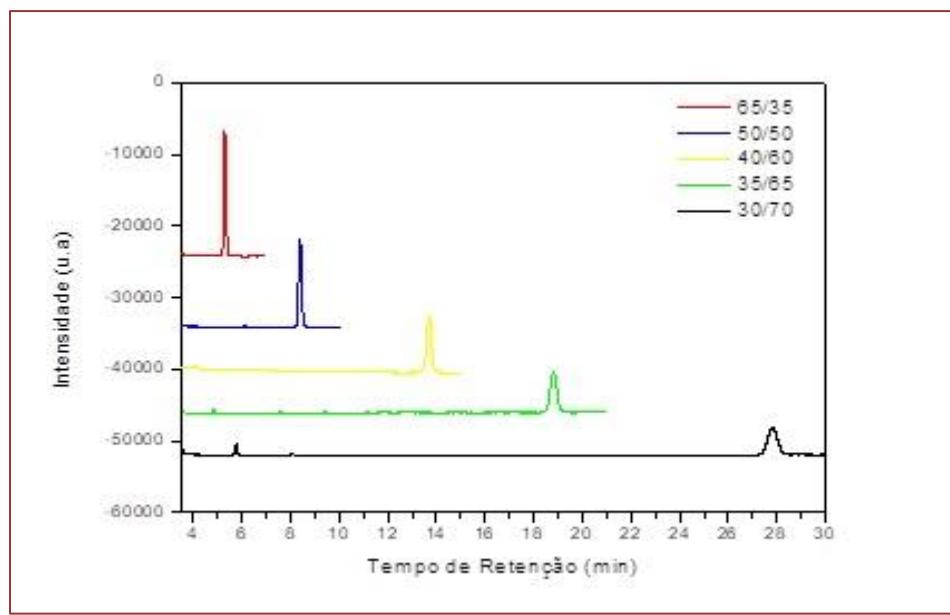
Na ausência de detecção de DEDIA, novas condições de eluição com fase móvel mais polar foram propostas para este produto de degradação separadamente (Figura 3). Para este estudo foi utilizada solução de DEDIA 0,5 mg L<sup>-1</sup>, preparada em meio de tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>, e a proporção 10/90 de

ACN e solução de tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup> foi escolhida para estudos posteriores com a DEDIA. Na Figura 2, a Atrazina apresenta tempo de retenção longo, de 18,78 min, justificando a necessidade de otimização do método analítico, variando-se as proporções dos eluentes da fase móvel (Figura 4).

**Figura 3:** Otimização de separação da DEDIA (0,50 mg L<sup>-1</sup> em tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>) com C18 em diferentes proporções de fase móvel Acetonitrila/Tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>, Vazão de fase móvel = 1,0 mL min<sup>-1</sup>, TC = 40ºC



**Figura 4:** Otimização do tempo de separação para AT (0,50 mg L<sup>-1</sup> em solução de tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>) na coluna C18 em diferentes proporções de fase móvel ACN/Tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>, Vazão de fase móvel = 1,0 mL min<sup>-1</sup>, TC= 40 ºC



Os resultados mostram que a condição 65/35 (ACN/Tampão Acetato 2,5 mmolL<sup>-1</sup>) apresentou boa resolução do pico e menor tempo de retenção para atrazina. De acordo com os dados de otimização, a melhor condição de fase móvel para a determinação dos metabolitos DIA, DEA e ATOH foi 35/65 (ACN/ Tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>) (Figura 2). Para DEDIA (Figura 3) foi 10/90(ACN/ Tampão acetato 2,5

mmol L<sup>-1</sup>) e para AT (Figura 4), 65/35 (ACN/tampão Acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>), por isso, foi proposto um gradiente linear, ou seja, variação da polaridade da fase móvel, alterando as proporções dos solventes ao longo da análise, mantendo a vazão constante.

### 3.1.2. ELUIÇÃO POR GRADIENTE

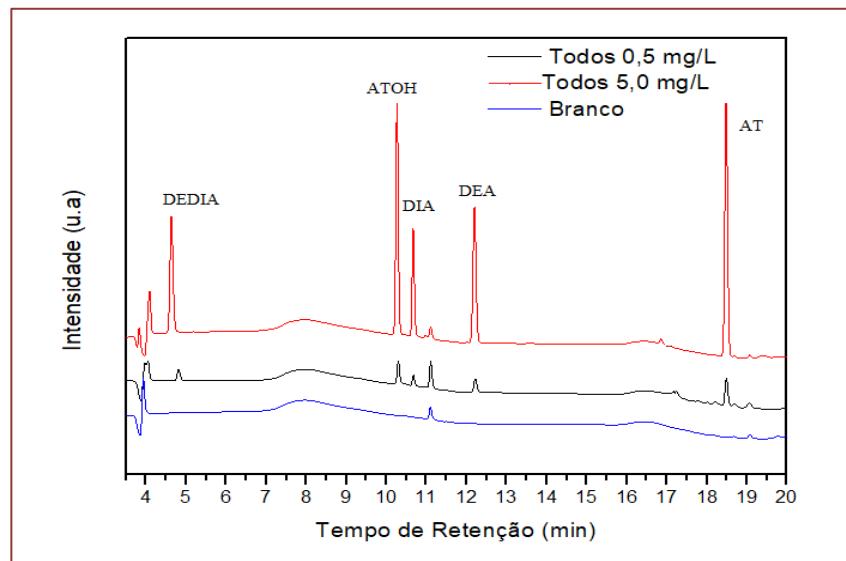
A eluição iniciou na condição 10/90 (ACN/Tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>), onde observa-se a separação da DEDIA. Em seguida esta condição é modificada para 35/65 (ACN/ Tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>), condição na qual temos a separação da ATOH, DIA e DEA e finaliza-se em 65/35 (ACN/ Tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>) para AT, a fim de assegurar a separação de todos os analitos com boa resolução. Os programas propostos estão dispostos na Tabela 1 e seus cromatogramas correspondem as Figuras 5 (Gradiente 1) e 6 (Gradiente 2).

**Tabela 1:** Propostas para gradiente linear de ACN/Tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup> para separação de AT, DIA, DEDIA, DEA e ATOH

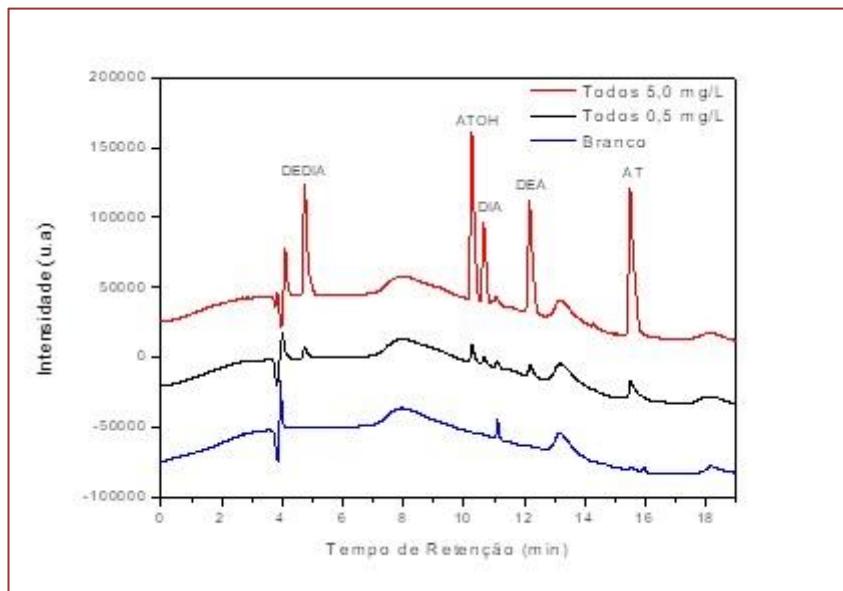
Gradiente 1		Gradiente 2	
Tempo de corrida (min)	% ACN na fase móvel	Tempo de corrida (min)	% ACN na fase móvel
0,01	10	<b>0,01</b>	10
0,5	10	<b>0,5</b>	10
5,0	35	<b>5,0</b>	35
10,00	35	<b>7,0</b>	35
12,00	65	<b>8,0</b>	65
15,00	65	<b>13,00</b>	65
16,00	10	<b>14,00</b>	10
20,00	10	<b>18,00</b>	10
20,00	Stop	<b>18,00</b>	Stop

ACN: Acetonitrila

**Figura 5:** Separação cromatográfica de AT, DEA, DIA, DEDIA E ATOH em Condição 1 de gradiente de fase móvel acetonitrila/tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>, Vazão de fase móvel = 1,0 mL min<sup>-1</sup>, TC = 40°C



**Figura 6:** Separação cromatográfica de AT, DEA, DIA, DEDIA E ATOH em Condição 2 de gradiente de fase móvel acetonitrila/tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>, Vazão de fase móvel = 1,0 mL min<sup>-1</sup>, TC = 40 °C e branco constituído de tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>



Observamos na Figura 5 (Gradiente 1) que além do volume morto, há separação de seis picos cromatográficos, onde um deles é inerente ao ensaio em branco, que se apresenta no tempo de retenção de 11,12 min. Na ordem, observamos a saída da DEDIA ( $t_R = 4,64\text{min}$ ), ATOH ( $t_R = 10,27\text{min}$ ), DIA ( $t_R = 10,68\text{min}$ ) DEA ( $t_R = 12,19\text{min}$ ) e AT ( $t_R = 18,47\text{min}$ ) com tempo total de análise igual a 20 min. Na Figura 6 (Gradiente 2) observamos a separação dos cinco analitos com os seguintes tempos de retenção: DEDIA ( $t_R = 4,74\text{min}$ ), ATOH ( $t_R = 10,28\text{ min}$ ), DIA ( $t_R=10,67\text{ min}$ ) DEA ( $t_R=12,21\text{ min}$ ) e AT ( $t_R=15,54\text{min}$ ). Ademais, observa-se uma mudança significativa de tempo de retenção para atrazina, que diminui de 18,47 para 15,54 min.

### 3.2. COLUNA C18 MONOLÍTICA

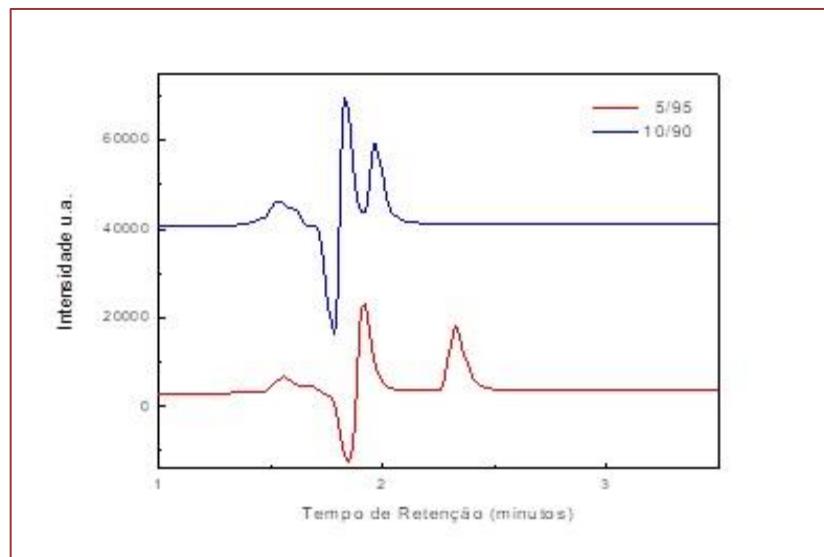
#### 3.2.1. ELUIÇÃO ISOCRÁTICA

Os analitos foram avaliados individualmente por eluição isocrática, utilizando coluna C18 com fase monolítica, sob as mesmas condições de análise a que foram submetidas à coluna C18 convencional. Como ponto de partida para a separação dos compostos estudados empregando coluna C18 monolítica, utilizamos a ordem de eluição obtida no estudo realizado para a coluna C18 convencional. Dessa forma, a DEDIA foi o primeiro produto de degradação estudado isoladamente. A condição 10/90 ACN/Tampão considerada ótima na coluna C18 convencional, apresentou um pico muito próximo ao volume morto, dessa forma,a proporção de 5/95 ACN/Tampão, são suficientes para uma boa separação com tempo de retenção igual a 2,34 min (Figura 7).

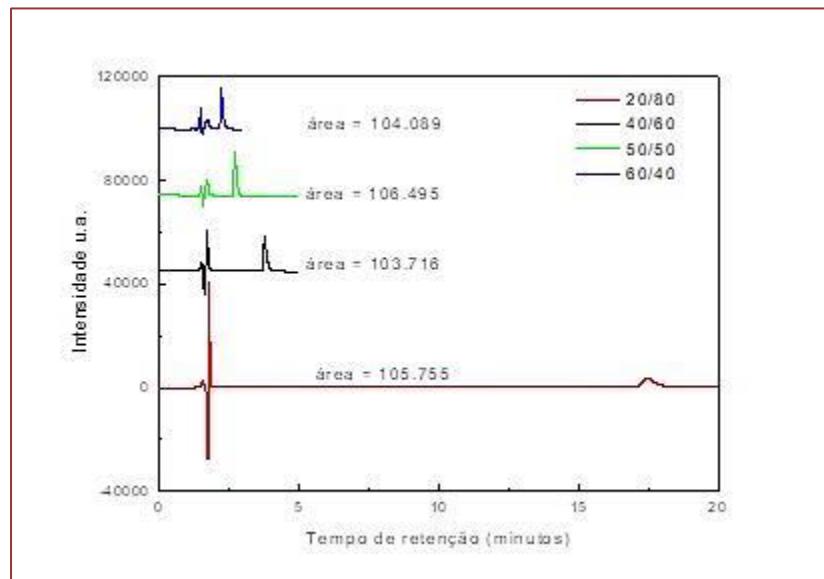
Na Figura 8 são apresentados os resultados da variação da proporção da fase móvel para a determinação individual da atrazina. Observa-se neste estudo que ao passo que aumentamos a proporção de ACN na fase móvel, o tempo de retenção da atrazina diminui, podendo alcançar dentro das condições estudadas 2,22 minutos na condição de proporção 60/40 de ACN/Tampão.

Considerando que os três produtos de degradação da atrazina, DIA, ATOH e DEA possuem polaridades entre a DEDIA e a AT, foi escolhida proporção de 20/80 ACN/tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup> para separar os três analitos. Nessa condição, observou-se os tempos de retenção da DIA em  $t_R=2,53\text{ min}$ , ATOH em  $t_R=2,97\text{ min}$  e DEA em  $t_R=3,76\text{ min}$ .

**Figura 7:** Otimização de separação de metabólito DEDIA ( $0,50 \text{ mg L}^{-1}$  em tampão acetato  $2,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ) com C<sub>18</sub> monolítica em diferentes proporções de fase móvel Acetonitrila/Tampão acetato  $2,5 \text{ mmol L}^{-1}$ , Vazão de fase móvel =  $1,0 \text{ mL min}^{-1}$ , TC=  $40^\circ\text{C}$



**Figura 8:** Otimização de separação para AT ( $0,50 \text{ mg L}^{-1}$  em tampão acetato  $2,5 \text{ mmol L}^{-1}$ ) com C<sub>18</sub> monolítica em diferentes proporções de fase móvel Acetonitrila/Tampão acetato  $2,5 \text{ mmol L}^{-1}$ , Vazão de fase móvel =  $1,0 \text{ mL min}^{-1}$ , TC =  $40^\circ\text{C}$



Através da análise com a coluna C<sub>18</sub> monolítica, observou que os picos ATOH ( $t_R=2,97 \text{ min}$ ) e DIA ( $t_R=2,53 \text{ min}$ ) mudaram de posição na coluna monolítica em comparação a ordem de eluição da C<sub>18</sub> convencional (A sequência de eluição: DEDIA, ATOH, DIA, DEA e AT). Uma explicação para isso é a difusão mais rápida da DIA devido a sua menor massa molar ( $172,65 \text{ g mol}^{-1}$ ), comparada a ATOH ( $197,22 \text{ g mol}^{-1}$ ), uma vez que estes produtos de degradação da atrazina apresentam polaridade muito semelhantes, contudo a ATOH apresenta maior caráter polar devido ao oxigênio ligado ao anel (Figura 1).

### 3.2.2. ELUIÇÃO POR GRADIENTE LINEAR

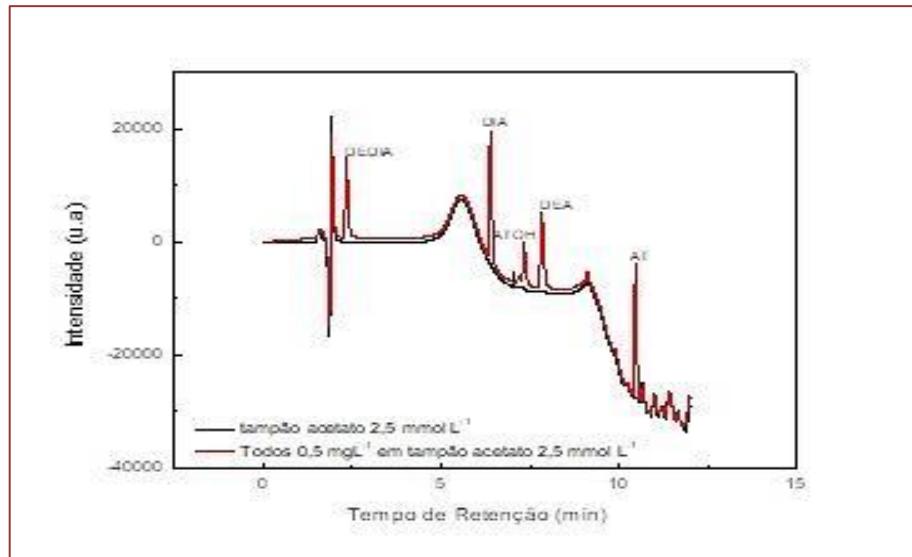
A proposta inicial, conforme Gradiente 1 (Tabela 2), seguiu as melhores condições obtidas para atrazina e seus metabólitos na eluição isocrática. Com isso, realizou-se uma nova proposta em Gradiente 2 para melhorar os parâmetros cromatográficos de separação.

**Tabela 2:** Condições de Gradiente para C18 monolítica

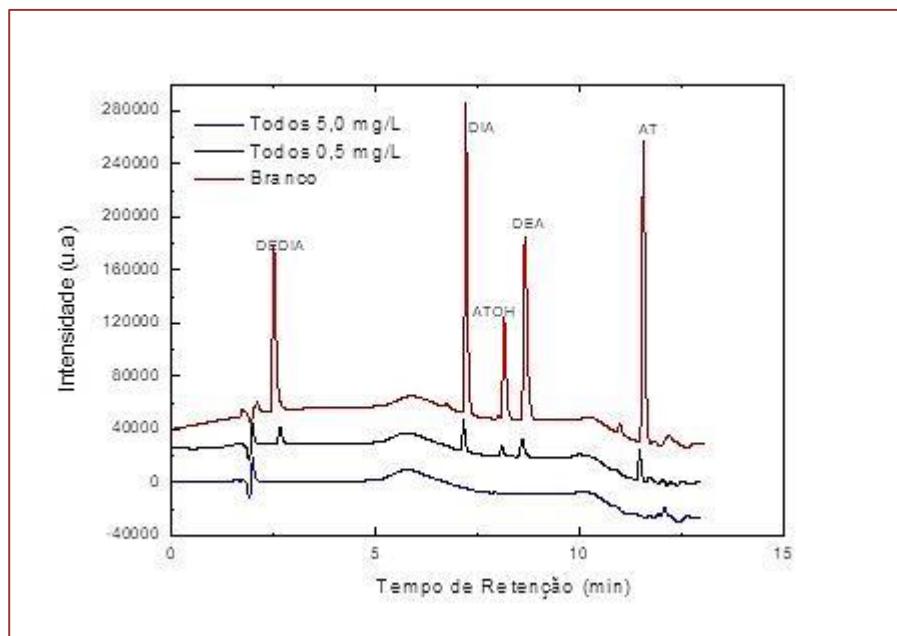
Gradiente 1		Gradiente 2	
Tempo de corrida (min)	% ACN na fase móvel	Tempo de corrida (min)	% ACN na fase móvel
0,01	5	<b>0,01</b>	3
0,50	5	<b>0,50</b>	3
1,50	20	<b>2,50</b>	20
4,50	20	<b>5,50</b>	20
5,50	60	<b>6,50</b>	60
8,50	60	<b>8,50</b>	60
9,50	5	<b>9,00</b>	5
12,00	5	<b>13,00</b>	5
12,00	Stop	<b>13,00</b>	Stop

Para o Gradiente 1, os cromatogramas obtidos são mostrados na Figura 9 com os analitos separados nos seguintes tempos de retenção:  $t_{R(DEDIA)}= 2,32$  min,  $t_{R(DIA)}= 6,40$  min,  $t_{R(ATOH)}= 7,34$  min,  $t_{R(DEA)}= 7,85$  min e  $t_{R(AT)}= 10,47$  min. A Figura 10 apresenta os cromatogramas obtidos para o Gradiente 2, cujos tempos de retenção para atrazina e seus produtos de degradação foram:  $t_{R(DEDIA)}= 2,68$  min,  $t_{R(DIA)}= 7,17$  min,  $t_{R(ATOH)}= 8,13$  min,  $t_{R(DEA)}= 8,58$  min e  $t_{R(AT)}= 11,49$  min.

**Figura 9:** Separação cromatográfica de AT, DEA, DIA, DEDIA E ATOH com coluna monolítica, “Gradiente 1” de fase móvel ACN/Tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>, Vazão de fase móvel = 1,0 mL min<sup>-1</sup>, TC = 40 °C



**Figura 10:** Separação cromatográfica de AT, DEA, DIA, DEDIA E ATOH em coluna monolítica, em “Gradiente 2” de fase móvel ACN/Tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>, Vazão de fase móvel = 1,0 mL min<sup>-1</sup>, TC = 40 °C e branco constituído de solução de tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>



Os resultados obtidos com as eluições isocráticas, sejam através da coluna cromatográfica C18 convencional ou C18 monolítica não são capazes de separar todos os analitos em uma só determinação, por isso foi proposta a análise por gradiente linear com as melhores condições otimizadas em análises isocráticas de cada analito (Figuras 3, 4, 7 e 8). Todas as condições em gradiente apresentaram separação dos analitos, no entanto, o segundo gradiente “Gradiente 2” em ambas as colunas foi escolhido para os estudos posteriores uma vez que apresentam melhor resolução, tempos de retenção e volumes de solvente orgânico usados (Figuras 6 e 10).

Os tempos de retenção obtidos empregando a coluna C18 monolítica são menores que aqueles obtidos por C18 convencional. Esse fato pode ser explicado a partir da estrutura interna que compõe essa coluna, devido a existência de macro e mesoporos que auxiliam na passagem da fase móvel de maneira mais rápida, e sem influenciar na qualidade da separação.

### 3.3. PARÂMETROS ANALÍTICOS

Na Tabela 3 são apresentadas as curvas analíticas, faixa linear de trabalho, R<sup>2</sup> e Limites de Detecção (LDs) para cada um dos analitos, em ambas as colunas cromatográficas, sob “Gradiente 2”, utilizando como fase móvel ACN/Tampão acetato 2,5 mmol L<sup>-1</sup>, Vazão de fase móvel = 1,0 mL min<sup>-1</sup> e TC = 40 °C. Os LDs foram obtidos a partir da diluição sucessiva de soluções dos analitos e posterior determinação até que não fossem mais detectados fase móvel.

A repetitividade foi avaliada para as duas colunas nas condições otimizadas através dos coeficientes de variação (CV). Os experimentos foram realizados em triplicata utilizando soluções de concentrações 0,10; 1,00 e 10,0 mg L<sup>-1</sup>. Os resultados estão dispostos na Tabela 4.

**Tabela 3:** Parâmetros analíticos para AT, ATOH, DIA, DEA e DEDIA, Gradiente 2, em C18 Convencional e C18 monolítica

ANALITOS	COLUNA C18 CONVENCIONAL			COLUNA C18 MONOLÍTICA				
	B (mg L <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	F. Linear (mg L <sup>-1</sup> )	LD (mg L <sup>-1</sup> )	B (mg L <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	F. Linear (mg L <sup>-1</sup> )	LD (mg L <sup>-1</sup> )
<b>DEDIA</b>	144374±707	0,999 <sub>8</sub>	0,05-25	0,050	143897±720	0,9998	0,01-10	0,005
<b>ATOH</b>	194128±2274	0,998 <sub>9</sub>	0,05-50	0,050	83214±259	0,9999	0,01-10	0,005
<b>DIA</b>	90726±235	0,999 <sub>9</sub>	0,05-50	0,050	209626±616	0,9999	0,01-10	0,010
<b>DEA</b>	160900±1453	0,999 <sub>3</sub>	0,05-50	0,050	172041±460	0,9999	0,01-10	0,005
<b>AT</b>	230766±1499	0,999 <sub>7</sub>	0,025-25	0,025	224718±426	0,9999	0,01-10	0,005

A equação da reta é dada por  $y = A + Bx$  e F. Linear é a Faixa Linear de Trabalho; y= área; x=concentração; b=sensibilidade (inclinação da curva); a=interseção com eixo y, quando x=0; LD = Limites de detecção.

**Tabela 4:** Repetitividade, Gradiente 2, com C18 convenc. e C18 monolítica, gradiente de fase móvel acetonitrila/tampão acetato 2,5 mmolL<sup>-1</sup>, Vazão de fase móvel = 1,0 mL min<sup>-1</sup>, TC= 40 °C

C (mg L <sup>-1</sup> )	C18 Convencional					C18 Monolítica				
	DEDIA	ATOH	DIA	DEA	AT	DEDIA	DIA	ATOH	DEA	AT
	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)	CV (%)
0,10	4,5	5,0	3,2	0,5	0,3	2,0	3,3	3,1	4,4	3,1
1,00	0,1	1,3	1,1	1,2	1,1	0,6	0,6	1,1	0,3	0,8
10,0	1,2	1,2	1,0	1,8	0,9	1,0	4,1	2,5	4,1	1,7

CV: Coeficiente de Variação

Os valores dos coeficientes de variação estão abaixo de 5% para os dois métodos, o que configura boa precisão para os métodos.

### 3.4. RECUPERAÇÃO DA ATAZINA

Os testes de recuperação de atrazina foram realizados após contaminação das amostras com 0,50 mg L<sup>-1</sup> de atrazina e tempo de exposição de 51 dias. Os resultados são mostrados na Tabela 6.

**Tabela 6:** Valores de recuperação de atrazina nas amostras das lagoas da Pindoba, Parque Frei Monteiro e Embasa após a contaminação com AT 50,0 mg L<sup>-1</sup> resultando em solução 0,50 mg L<sup>-1</sup> de AT

Nome da amostra	Coluna C18 Convencional			Coluna C18 Monolítica				t
	Média (mg L <sup>-1</sup> )	Desvio (S) (mg L <sup>-1</sup> )	Média (%)	Média (mg L <sup>-1</sup> )	Desvio (S) (mg L <sup>-1</sup> )	Média (%)		
Pindoba	0,491	0,001	98	0,44	0,02	88	2,75	
Parque F. Monteiro	0,410	0,01	82	0,42	0,01	84	0,93	
EMBASA	0,467	0,004	93	0,44	0,01	88	2,14	

Valor de t para 4 graus de liberdade e 95% de confiança igual a 2,78.

Os resultados obtidos para recuperação de atrazina nas amostras de águas mostraram recuperação acima de 82% do pesticida, no entanto, não foi detectada a presença de metabólitos nas amostras. Os métodos utilizando coluna C18 convencional e C18 monolítica foram comparados empregando o teste t de Student para 95% de confiança e 4 graus de liberdade, e uma vez que os valores de “t” obtidos foram menores que o “t” tabelado =2,78, podemos afirmar que não existem evidências de diferenças significativas entre os métodos empregados.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dante do exposto, observa-se que o objetivo desse trabalho foi alcançado com desenvolvimento de metodologias de separação de atrazina (AT), 2-hidroxiatrazina (ATOH), Desisopropilatrazina (DIA), Desetilatrazina (DEA) e Desetildeisopropilatrazina (DEDIA) com as duas colunas utilizadas, a C18 convencional e a coluna C18 monolítica. A eluição por gradiente com os Gradientes 1 e 2 em ambas colunas separam os analitos, no entanto, os Gradientes 2, em ambas colunas, apresentaram melhores parâmetros cromatográficos com menores tempos de retenção, menor volume de solvente orgânico, menor tempo de análise, melhor resolução e precisão satisfatória (CV: <5,0%).

Com os métodos desenvolvidos, na condição dos Gradientes 2, a atrazina apresentou recuperação acima de 82% nas amostras de águas. Estes métodos são equivalentes, mas a coluna monolítica apresentou tempos de retenção e limites de detecção menores que a coluna convencional, aspecto positivo, uma vez que diminui o tempo de análise, o volume de fase móvel empregada e detecta menores concentrações de AT, DEDIA, DIA, DEA e ATOH nas amostras de águas naturais estudadas. Não foram encontrados produtos de degradação de atrazina nas amostras.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão de bolsa de Iniciação Científica para a execução deste trabalho, ao grupo de Pesquisa em Eletroquímica, Energia e Materiais Scientists (GPEEM) da Universidade Federal da Bahia (UFBA) campus Ondina e ao laboratório de Catálise, Adsorção e Geoquímica Ambiental do Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM) da UEFS. As autoras declaram não existir qualquer conflito de interesse.

#### REFERÊNCIAS

- [1] AZEVEDO, C. F. et al. Efeito de sistemas de consórcio e inseticida na formação dos estômatos em plântulas de erva-doce (*Foeniculum vulgare* Mill.) Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu, v.14, n.esp., p.205-213, 2012.
- [2] AZEVEDO, I. M. G. Crescimento e morfoanatomia foliar de mudas de espécies florestais nativas da amazônia cultivadas em diferentes substratos e níveis de sombreamento. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical). Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Amazonas, 2016.
- [3] BARBOSA, K. A.; FAGAN, E. B.; TEIXEIRA, W. F.; CANEDO, S. C. Efeito residual do herbicida 2,4-D+ picloram sobre o crescimento de *Hymenaea stigonocarpa* mart. Sociedade de Ecologia do Brasil, 2011. Disponível em: <http://www.seb-ecologia.org.br/xceb/resumos/1745.pdf>. Acesso em: 14 de março de 2018
- [4] BEÑADIKOVÁ, H; KALVODA, R. Adsorptive stripping voltammetry of some triazine-and nitro group-containing pesticides. Analytical Letters, 1984.
- [5] BRASIL ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Consulta Pública nº 50, de 09 de junho de 2003. Disponível em: <http://www4.anvisa.gov.br/base/visadoc/CP/CP%5B4882-2-0%5D.PDF>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2017.
- [6] BRASIL ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Atrazina. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/111215/117782/a14.pdf/76773817-be41-4334-9846-77bd559f9e80>. Acessado em 27 de março de 2018. Acesso em: 20 de janeiro de 2020.
- [7] BRASIL. Lei nº 7802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e da outras providências. Diário Oficial da União. 11 jul 1989.
- [8] BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento

de efluentes, e dá outras providências. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2017.

[9] BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/DOU/2011/12/12>. Acesso em: 22 de agosto de 2018.

[10] BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas- NBR 9.898/1987. Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.898-Coleta-de-Amostras.pdf>. Acesso em: 22 de março de 2018.

[11] CASTRO, A; COLARES, I.G; FRANCO, T. C. Using a toxicity test with *Ruppia maritima* (*Linnaeus*) to assess the effects of Roundup. *Marine Pollut. Bull.*, 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25455815>. Acesso em: 20 de dezembro de 2019

[12] COELHO, E. R. C; BERNARDO, L. di. Presença e remoção de atrazina, desetilatrazina, desisopropilatrazina e desetilhidroxiatrazina em instalação piloto de ozonização e filtração lenta. *Eng Sanit Ambient*, v.22 n.4, 2017.

[13] COELHO, E. R. C; BERNARDO, L. di. Removal of atrazine and metabolites through slow filtration by sand and granular activated carbon. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2012.

[14] CORREIA, F. V.; LANGENBACH, T. Dinâmica da distribuição e degradação de atrazina em argissolo vermelho-amarelo sob condições de clima tropical úmido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v30n1/a18v30n1.pdf>. Acesso em: 22 de agosto de 2018

[15] COUTO, J. L. V. de. Riscos de Acidentes em Zona Rural. UFRRJ, 2005. Disponível em:<http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/turb.htm>. Acesso em: 19 de agosto de 2018

[16] Da CUNHA, J. et al. Determinação da atrazina e seus intermediários de biodegradação em enriquecimentos bacterianos obtidos em cursos de água uruguaios. Innotec, 2013.

[17] DELAMATRICE, P. M. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v. 18, n.12, p. 1296-1301, 2014

[18] DELGADO, I. F.; PAUMGARTTEN, F. J. R. Intoxicações e uso de pesticidas por agricultores do Município de Paty do Alferes, Rio de Janeiro, Brasil, 2004. Disponível em:<http://www.scielosp.org/pdf/csp/v20n1/34.pdf>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2017.

[19] DIAS, A. C. L. et al. Ocorrência de atrazina em águas no Brasil e remoção no tratamento de água: revisão sistemática. *Revista Internacional de Ciências*, v. 08, n. 02, p. 234-253, jul-dez, 2018.

[20] DOPICO, M. S et al. Determination of Triazines in Water Samples by High-Performance Liquid Chromatography with Diode-Array Detection. *Journal of Chromatographic Science*, Vol. 40, 2002.

[21] EMPRESA BAIANA DE ÁGUAS E SANEAMENTO S.A (EMBASA). Relatório Anual de Informação ao Consumidor, 2012. Disponível em: [http://www.embasa.ba.gov.br/images/a-embasa/areas-de-atuacao/relatorio-anual-consumidor/2012/feira\\_de\\_santana\\_conceicao\\_de\\_feira\\_santa\\_barbara\\_santanapolis\\_sao\\_goncalo\\_do\\_campos\\_e\\_tanque\\_inho2012.pdf](http://www.embasa.ba.gov.br/images/a-embasa/areas-de-atuacao/relatorio-anual-consumidor/2012/feira_de_santana_conceicao_de_feira_santa_barbara_santanapolis_sao_goncalo_do_campos_e_tanque_inho2012.pdf). Acesso em: 20 de janeiro de 2020.

[22] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Cultivo de milho Plantas daninhas, 2009. Disponível em:[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho\\_5\\_ed/plantasdaninhas.htm](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_5_ed/plantasdaninhas.htm). Acesso em: 02 de março de 2017.

[23] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Determinação de atrazina em solos e água em áreas de cultivo de milho irrigado do Distrito Federal, 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/22922/determinacao-de-atrazina-em-solos-e-agua-em-areas-de-cultivo-de-milho-irrigado-do-districto-federal>. Acesso em: 22 de agosto de 2018

[24] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Plantas daninhas, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-plantas-daninhas/perguntas-e-respostas>. Acesso em: 21 de janeiro de 2020.

[25] FARIA, A. M.; BOTTOLI, C. B. G.; JARDIM, Isabel C. S. F.; COLLINS, Carol H. Fases estacionárias monolíticas para separações cromatográficas. Química Nova, 2005. Campinas – SP

[26] GARRIDO, E. M.; DELERUE, M. C.; LIMA, J. L. F.C.; BRETT, A. M. O, Electrochemical methods in pesticides control. 2004. *Analytical Letters*. 37(9): 1755- 1791.

[27] GONCALVES, M. W; VIEIRA, T. B; MACIEL, N. M. Detecting genomic damages in the frog *Dendropsophus minutus*: preserved versus perturbed areas. *Environ.Sci. Pollut. Res. Int.*, 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25300186>. Acesso: 22 de dezembro de 2019

[28] INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY (IUPAC). Atrazina Meio ambiente-ecotoxicologia- saúde humana, 2019. Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/iupac/Reports/43.htm>. Acessado em 21 de janeiro de 2020.

- [29] Laboratório de Química Ambiental (LaQA). Poluição Atmosférica e Chuva ácida. USP, 2005. Disponível em: [http://www.usp.br/qambiental/chuva\\_acidafront.html](http://www.usp.br/qambiental/chuva_acidafront.html). Acesso em: 21 de agosto de 2018
- [30] LIPPOLIS, M. J.; CONCIALINI, V.; Differential pulse polarographic determination of the herbicides atrazine, prometryne and simazine. *Talanta* 1988, 35, 235.
- [31] LOPES, C. V. A; ALBUQUERQUE, G. S. C de. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. *Saúde Debate*. Rio de Janeiro, v. 42, n. 117, p. 518-534, 2018.
- [32] MANSANO, A. S, MOREIRA, R. A, PIEROZZI, M. Effects of diuron and carbofuran pesticides in their pure and commercial forms on *Paramecium caudatum*: The use of protozoan in. *Environ. Pollut.* 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26890484>. Acesso em: 20 de dezembro de 2019
- [33] MOURA, M. A. C. de; FRANCO, Daniel A. S; MATALLO, Marcus B. Impactos de Herbicidas sobre os Recursos Hídricos, 2008. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*.
- [34] NEIVERTH, C. A. Determinação de atrazina em água utilizando extração em fase sólida e cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas. *Ambiencia*, 2015. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiciencia/article/viewFile/1683/pdf>. Acesso em: 22 de agosto de 2018
- [35] Nortox Produtos. Atrazina Nortox 500 sc, 2015. Disponível em: <http://www.nortox.com.br/produto/herbicidas/atraxina>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2017.
- [36] PEREIRA, W. S.; FREIRE, R. S. Ferro zero: uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. *Química Nova*, 2005, México. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422005000100022](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000100022)>. Acesso em: 14 de março de 2018
- [37] PERES, F; MOREIRA, J. C. É veneno ou é remédio?: Agrotóxicos, saúde e ambiente [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003. 384 p. ISBN 85-7541-031-8. Available from SciELO Books . Available from SciELO Books.
- [38] PESSOA, P. C; LUCHMANN, K. H; RIBEIRO, A. B. Cholinesterase inhibition and behavioral toxicity of carbofuran on *Oreochromis niloticus* early life stages. *Aquatic Toxicol.* 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21794226>. Acesso em: 17 de setembro de 2019.
- [39] SANCHES A.L. M, et al. Single and mixture toxicity of abamectin and difenoconazole to adult zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*. 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28917210>. Acesso em: 17 de setembro de 2019.
- [40] SANTANA V. S; MOURA M.C. P; NOGUEIRA F. F. Mortalidade por intoxicação ocupacional relacionada a agrotóxicos, 2000-2009, Brasil. *Rev. Saúde Pública*. 2013 Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-89102013000300598](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102013000300598). Acesso em: 10 de setembro de 2019
- [41] Dos SANTOS, L. B. O. Desenvolvimento de Metodologias para Determinação de Resíduos de Atrazina em Solos e Águas Naturais Empregando Técnicas Eletroanalíticas. Tese (Doutorado em Química)- Instituto de Química, Universidade São Paulo, 2006.
- [42] Dos SANTOS, L. B. O.; ABATE, G.; MASINI, J. C.; Determination of atrazine using square wave voltammetry with the Hanging Mercury Drop Electrode (HMDE). *Talanta* 2004, 62, 667
- [43] SCHMITT, G. C. et al. Aspectos gerais e diagnóstico clinicolaboratorial da intoxicação por paraquat. *J. Bras. Patol. Med. Lab.* [online]. 2006, vol.42, n.4, p.235-243
- [44] SEGATO, Milena P; SILVA, César R; JARDIM, Isabel C.S.F. Eletrocromatografia capilar: contextualização, estado da arte e perspectivas. *Quim. Nova*, Vol. 32, No. 2, 431-440, 2009
- [45] SILVA, Raquel G. da C.; COLLINS, Carol H.; BOTTOLEI, Carla B. G.; Cromatografia líquida capilar: estado da arte e aplicações. *Química Nova*, 2011. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0100-40422011000500020&lng=en&nrm=iso&tlang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-40422011000500020&lng=en&nrm=iso&tlang=pt). Acesso em: 08 de agosto de 2018
- [46] SOUZA, T. S et al. MCR-ALS aplicado no monitoramento quantitativo do processo de eletrodegradação da atrazina usando espectros uv: resultados comparativos com HPLC-DAD como um método de referência. *Quim. Nova*, Vol. 39, No. 2, 137-145, 2016.
- [47] TANNOUS, K; PERNA, R. F. Transferência de Massa por Convecção. UNICAMP, 2009. Disponível em: <https://www.ggte.unicamp.br/ocw/sites/ocw/files/cursos/CienciasExatas/EQ741/apostilas/cap5.pdf>. Acesso: 23 de agosto de 2018
- [48] WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for drinking water quality. Vol.1. 4rd ed. Versão eletrônica. 2017. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf;jsessionid=3FCA37069207D6A3E9B5117CCD3A1AE9?sequence=1>. Acesso em: 22 de janeiro de 2020.

[49] ZHANG, Y. et all. Highly sensitive fluorescence quantification of picloram using immunorecognition liposome. ELSEVIER, 2010, China. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21035666>. Acesso em: 14 de março de 2018

[50] ZARPON, L.; ABATE, Gilberto; SANTOS, Luciana B. O. dos; MASINI, Jorge C. Montmorillonite as an adsorbent for extraction and concentration of atrazine, propazine, deethylatrazine, deisopropylatrazine and hydroxyatrazine. Elsevier, 2006.

# Capítulo 8

## *Correlação entre dureza Shore A e módulo de Young para materiais elastoméricos*

*Anselmo Pombeiro*

*Edemir Luiz Kowalski*

*Guilherme Rachelle Hernaski*

*Victor Salvino Borges*

*Rafael Pires Machado*

*Leandro Fontana Pires*

*Rodolfo Turek*

**Resumo:** Equipamentos de proteção individual e coletivos confeccionados em material elastomérico são fundamentais na realização de atividades de manutenção em redes de alta tensão energizadas. Estes equipamentos somente são avaliados periodicamente por meio de ensaios que verificam a condição do isolamento elétrico e não mecânico. Observou-se que a dureza Shore A correlacionada ao módulo de Young pode ser uma forma de se avaliar por meio de teste não destrutivo a propriedade mecânica destes elastômeros. O trabalho apresenta os resultados obtidos experimentalmente que possibilitaram se estabelecer uma correlação entre o módulo de Young e a dureza Shore A, considerando-se a deformação do material, apresentando uma evolução ao modelo de correlação atualmente sugerido, modelo de Gent.

**Palavras-chave:** Módulo de Young, Dureza Shore A, EPI, EPC, Modelo de Gent.

## 1. INTRODUÇÃO

As empresas distribuidoras de energia devem atender um mercado consumidor em constante evolução de maneira adequada, obrigando-as rever procedimentos na operação e manutenção do sistema dentro de limites desafiadores estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica. A manutenção deste sistema pode ser realizada com a rede desligada ou com a rede energizada. Os trabalhos executados com a rede energizada devem ser realizados mediante a adoção de procedimentos e metodologias que garantam a segurança dos trabalhadores. Estão associados às atividades realizadas na rede de alta tensão energizada os métodos à distância, ao potencial e ao contato [1]. Atualmente dentre estes métodos o mais aplicado na manutenção de redes de distribuição é o método ao contato, aplicado em tensões desde 13,8 e 34,5 kV (denominadas de média tensão). Neste método o eletricista fica em contato com o cabo energizado, sendo necessários equipamentos que garantam o isolamento elétrico do corpo do eletricista. Estes equipamentos são denominados de EPI (Equipamento de Proteção Individual) e EPC (Equipamento de Proteção Coletiva).

Os EPIs e EPCs são confeccionados em materiais poliméricos a destacar os elastômeros. Luvas, mangas e lençóis isolantes confeccionados em borracha são os principais equipamentos utilizados.

Para serem considerados operacionais, estes equipamentos devem passar por ensaios elétricos de rotina, conforme estabelecido em comitê técnico-científicos e com força de lei descrito pela Norma Regulamentadora n. 10 (NR10). Estes ensaios avaliam as condições de isolamento sob a presença de campo elétrico. Nos ensaios periódicos se tem observado que alguns equipamentos apresentam indicativos de propriedades mecânicas no mínimo duvidosas, como por exemplo, a perda de coloração, processos superficiais de fedilhamento, enrijecimento e amolecimento do material. Mesmo apresentando os indicativos de degradação ou envelhecimento, um percentual dos equipamentos acaba sendo aprovado pelos ensaios elétricos. O ensaio elétrico é a forma utilizada para refugo e inutilização destes materiais. A análise visual é apenas informativa, e não caracteriza retirada de campo dos equipamentos.

Com base neste contexto, a necessidade de estabelecer padrões de ensaios que avaliem as características mecânicas destes materiais elastoméricos, e de forma não destrutiva se faz necessária. Este ensaio poderá ser utilizado como critério de retirada do material de campo, permitindo uma elevação nos critérios de confiabilidade dos equipamentos de proteção utilizados. Desta forma, índices de incidentes devido a falha de equipamentos poderão ser diminuídos agindo de forma ativa e preditiva.

Uma forma de se avaliar as propriedades mecânicas de materiais consiste na realização do ensaio de tração-deformação do qual se obtém o módulo de Young ou módulo de elasticidade do material. O problema deste ensaio é que ele é destrutivo, pois necessita da retirada de corpos de prova na forma de gravatas para que o ensaio seja realizado em uma máquina de tração. O teste de dureza Shore A, para o caso dos materiais elastoméricos, pode ser tratado como não destrutivo, uma vez que devido a relaxação mecânica do material o polímero não terá sua ruptura ou degradação agravada pelo ensaio.

Existem estudos que mostram a correlação entre o módulo de Young e a dureza dos materiais [2-6]. No caso de materiais elastoméricos o modelo semi-empírico desenvolvido por Gent em 1958 [6] é a referência ainda nos dias atuais. Segundo seu trabalho a relação entre a dureza Shore A e o módulo de Young é dado em função da forma do penetrador do durômetro. Para penetradores de forma cilíndrica a correlação é a apresentada na Eq. 1:

$$E(MPa) = \frac{0,0981(56+7,66.s)}{0,1375.(254-2,54.s)} \quad (1)$$

O gráfico da Fig.1(a) mostra o comportamento do módulo de Young calculado para as deformações de 25%, 50%, 100 %, 200 % e 300 % para um material elastomérico retirado de uma manga isolante, onde pode-se observar que o módulo de Young calculado no ensaio de tração depende da deformação na qual o módulo é obtido apresentando um comportamento não linear. Assim pode-se concluir que a Eq. 1 estabelecida por Gent não pode retratar corretamente a relação entre dureza Shore A e módulo de Young. Assim realizou-se um estudo experimental buscando melhorar a correlação entre dureza e módulo de Young utilizando diversas amostras retiradas de EPIs e EPCs, de diferentes fabricantes e com diferentes formulações.

## 2. EXPERIMENTAL

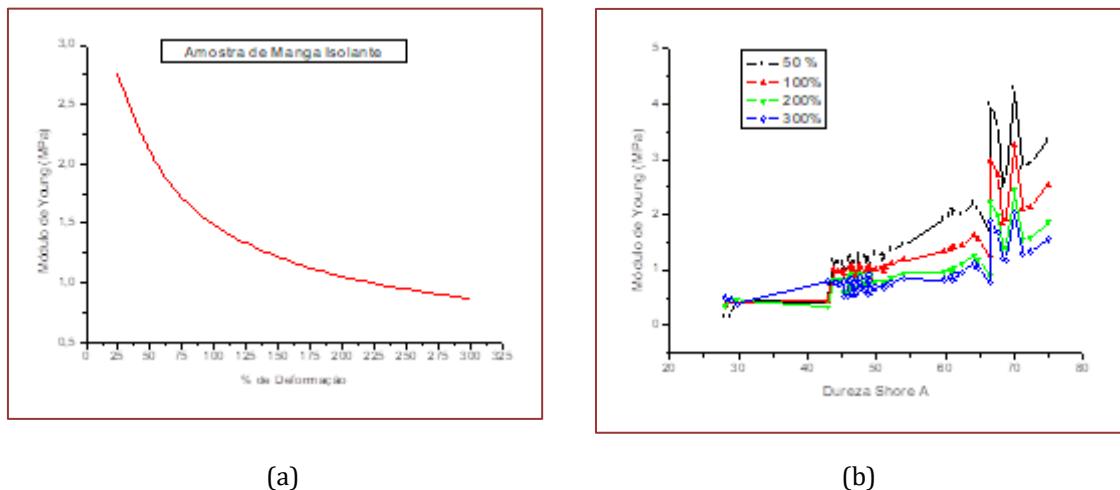
Para a realização dos estudos, foram retiradas 45 amostras de cada equipamento, mangas (luvas) denominadas de LM e tipos de lençóis isolantes de diferentes fabricantes, denominados de LF e LR. Estas

amostras foram submetidas a processo de envelhecimento em estufa a 70 °C e 80 °C, por tempos de 0, 7, 14, 21, 45, 60, 90, 120 e 150 dias, tendo-se 5 amostras para cada tempo de envelhecimento. Para a realização das medidas de dureza Shore A, utilizou-se o durômetro padrão Asker modelo CL-150 e as recomendações estabelecidas pela norma ASTM D2240 - 15[7]. Para o ensaio de tração mecânica utilizou-se o equipamento Instron modelo 4467 e as recomendações da norma ASTM D412 - 16 [8]. A metodologia aplicada consistiu em realizar-se a medida de dureza Shore A em todas as amostras na condição de tempo de envelhecimento 0 dias, e para um conjunto de 5 amostras de cada equipamento a realização do ensaio de tração. Na sequência para cada período de envelhecimento retirou-se as 5 amostras de cada equipamento, realizando-se inicialmente a medida da dureza Shore A em 5 pontos diferentes de cada amostra, e utilizando-se como resultado representativo a média. Na sequência sobre as mesmas amostras realizou-se a retirada de 5 corpos de prova para o ensaio de tração. Os valores do módulo de Young são obtidos diretamente dos resultados fornecidos pelo equipamento de tração nos percentuais de deformação de 50, 100, 200 e 300% do comprimento inicial, sendo utilizado como valor representativo da medida a média dos valores obtidos em cada percentual de deformação. Os valores das médias obtidos para a dureza shore A e módulo de Young, foram então correlacionados utilizando o software Origin®.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do módulo de Young calculado para cada deformação e os valores das respectivas durezas Shore A podem ser observados na Fig 1(b).

**Figura 1** - (a) Gráfico com dados experimentais para manga isolante referente à dependência do módulo de Young em função do % deformação onde o respectivo módulo é calculado. (b) Resultados do módulo de Young em função da dureza shore A para diferentes deformações



Como pode ser observado nos gráficos da Fig.1, verifica-se que o módulo de Young possui uma dependência em relação à dureza Shore A e deformação seguindo uma lei de potência, como mostra a Eq. 2.

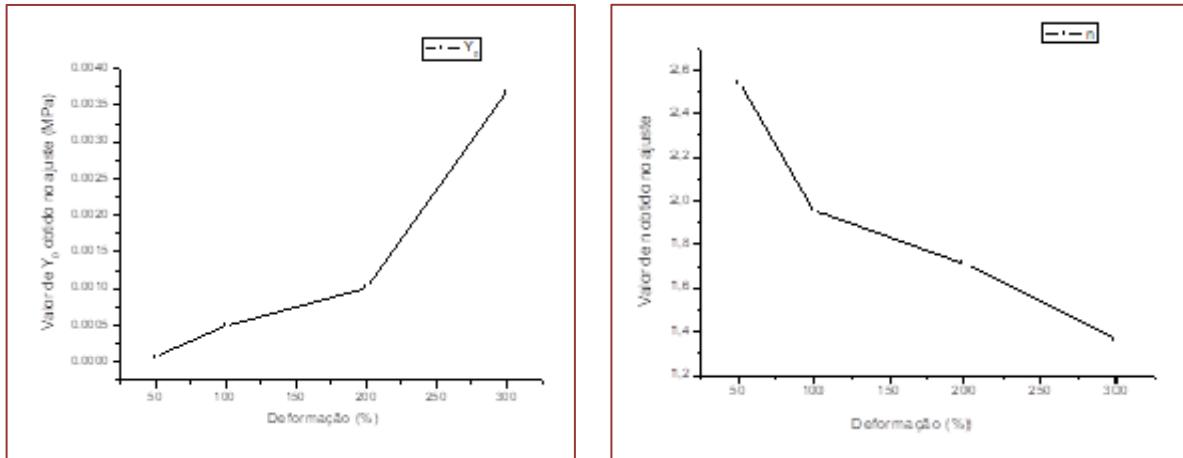
$$Y = Y_0 \Delta^n \quad (2)$$

onde  $Y$  é o módulo de Young em MPa,  $Y_0$  o módulo de Young inicial, ou seja, quando o valor de dureza Shore A tende a zero, sendo dado em MPa,  $\Delta$  a deformação na qual o módulo de Young é obtido experimentalmente em % e  $n$  representa um expoente adimensional.

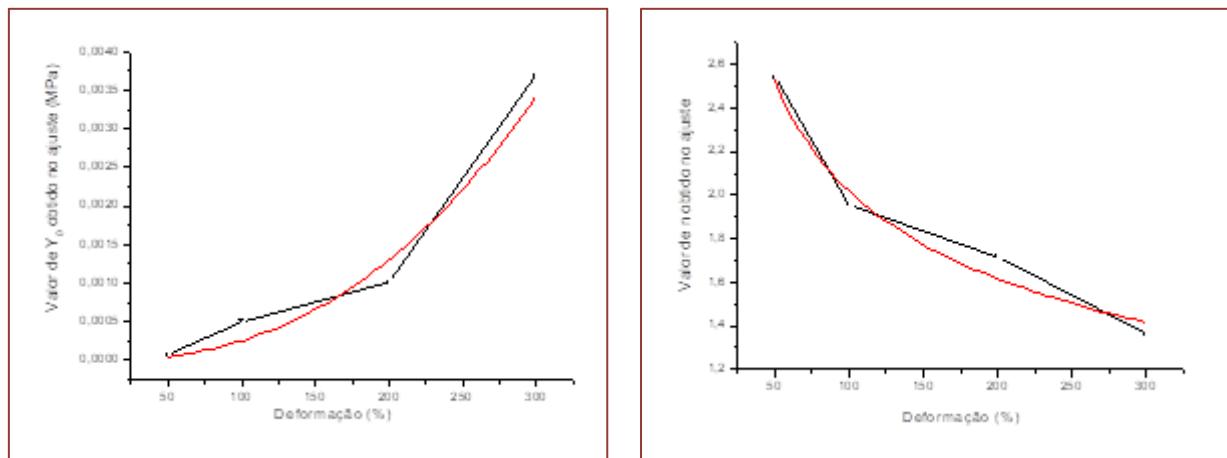
Realizando-se o ajuste de cada uma das curvas do gráfico da Fig. 2 à Eq.2, obtém-se os valores de  $Y_0$  e  $n$ , que se encontram representados no gráfico da Fig. 4 em função de cada um dos % de deformação.

Observando-se os gráficos da Fig.2 se verifica uma dependência de tanto de  $Y_0$  quanto  $n$  em relação à deformação seguindo a lei de potência dada pela Eq.2. Assim, realizando-se o ajuste de  $Y_0$  e  $n$  em função da deformação por meio da lei de potência tem-se o resultado apresentado no gráfico da Fig.3.

**Figura 2 - Ajustes do valor de  $Y_0$  e  $n$  em função da deformação por meio de lei de potência**



**Figura 3 -** A curva em preto representam os valores de  $Y_0$  e  $n$  obtidos da deformação por meio de lei de potência, e a curva em vermelho representa o melhor ajuste à lei de potência em função da deformação %



As equações resultantes do ajuste apresentado na Fig.3 são respectivamente:

$$Y_0 = 4,4275 \cdot 10^{-9} \cdot \Delta^{2,37674} \quad (3)$$

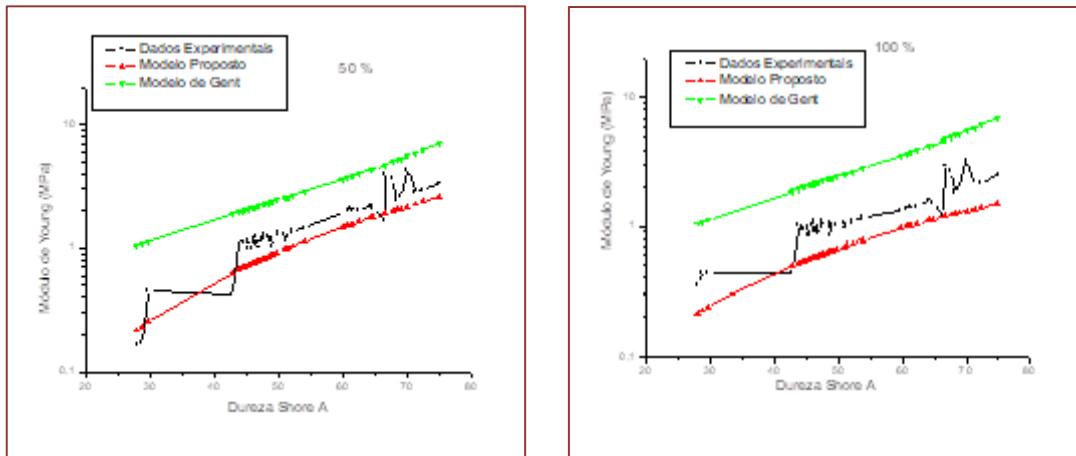
$$n = 8,89132 \cdot \Delta^{-0,32198} \quad (4)$$

Com a Eq. 3 e Eq. 4 na Eq. 2 tem-se Eq. 5 que representa a correlação entre o módulo de Young e a dureza Shore A, levando-se em consideração a deformação na qual o módulo de Young é obtido experimentalmente.

$$Y (\text{MPa}) = (4,4275 \cdot 10^{-9} \cdot \Delta^{2,37674}) \cdot s^{(8,89132 \cdot \Delta^{-0,32198})} \quad (5)$$

A comparação para as deformações de 50% e 100% entre o modelo de Gent ao modelo descrito pela Eq. 5 com os valores experimentais é apresentada no gráfico da Fig. 4. Como pode neste gráfico o modelo proposto, o qual leva em consideração a deformação para a qual o módulo de Young é medido experimentalmente representa de forma mais correta os dados experimentais obtidos.

**Figura 4 - Resultados comparativos entre os dados experimentais, modelo proposto e modelo de Gent para 50% e 100% de deformação**



#### 4. CONCLUSÕES

O modelo para se estabelecer a correlação entre a dureza Shore A e o módulo de Young foi apresentado e comparado ao modelo de Gent atualmente aplicado, e aos dados experimentais obtidos para um amplo conjunto de amostras. O modelo proposto levou em consideração a deformação para a qual o módulo de Young é obtido em função da dureza, fato este não considerado no modelo proposto por Gent. Os resultados gerados pelo modelo proposto apresentaram-se mais próximos aos valores obtidos experimentalmente se comparados ao modelo de Gent. A necessidade de uma melhor interpretação física e química das funções obtidas por meio dos ajustes à lei de potência, porém o resultado obtido apresenta uma evolução ao modelo atualmente aplicado.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores do trabalho agradecem à COPEL Distribuição e a Agencia Nacional de Energia Elétrica pelo financiamento da pesquisa por meio do Projeto P&D PD 2866-0410/2014 - Desenvolvimento de protótipos de equipamentos para ensaio mecânico em EPI e EPC utilizados em trabalhos com linha viva. Também agradecem aos Institutos Lactec pela infraestrutura fornecida para o desenvolvimento da pesquisa. Por fim agradecem ao CNPq pelo benefício da Lei 8.010/90.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Mohamed A. El-Sharkawi, *Electric Safety: Practice and Standards*, CRC Press, 2013.
- [2] Yang-Tse ChengChe-Min Cheng Appl. Phys. Lett. 1998,73, 614.
- [3] W. C. Oliver and G. M. Pharr J. Mater. Res. 1992, 7, 1564
- [4] M. F. Doener and W. D. Nix J. Mater. Res. 1986,1, 601.
- [5] Irandhi M. Meththananda, Sandra Parker, Mangala P. Patel, Michael Braden Dental Materials ,2009,5 956.
- [6] Gent AN IRI Trans 1958;34:46.
- [7] ASTM D2240 – 05 Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness.
- [8] ASTM D412 – 16 Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension.

# Capítulo 9

## *Avaliação da produção horária dos serviços de terraplenagem em uma Subestação Elevadora de Energia*

*Andreia Cardoso Alves*

**Resumo:** Este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa que analisa a produção horária dos serviços de terraplenagem de uma obra de Subestação. A obra em questão é a Subestação Elevadora Morro do Chapéu Sul II 34,5/500kV (SE MCSII), situada no município de Morro do Chapéu e pertencente ao Complexo Eólico Morro do Chapéu Sul II. O objetivo é apresentar a metodologia de cálculo das produtividades de equipamentos e efetuar cálculo para o caso real da terraplenagem de uma Subestação. O estudo é pautado em bibliografias pertinentes e em dados de levantamento de campo. Os resultados da pesquisa fornecem produções horárias de diferentes tipos de equipamentos e fomentam a importância do estudo das produtividades para elaboração de orçamentos e planejamentos, em obras civis.

**Palavras-chave:** Terraplenagem. Produção horária. Equipes. Orçamento. Planejamento.

## 1. INTRODUÇÃO

As Subestações Coletoras de Energia exigem, para fins de regularização e nivelamento do terreno onde serão construídas, a execução prévia dos serviços de terraplenagem. Dependendo do projeto, o corpo de aterro pode apresentar elevados volumes a serem movimentados, inclusive com necessidade aquisição e transporte de material de jazida. Este transporte, quando efetuado por frota de caminhões basculantes, implica na utilização de vias de acesso (avenidas, ruas, rodovias, etc.) e possui produção diretamente ligada à fatores como capacidade dos caminhões, distância média de transporte, condições dos acessos, manutenção mecânica, capacidade dos equipamentos de escavação e carga na jazida e fluxo do tráfego nas vias escolhidas.

Em obras situadas em parques eólicos, especificamente, nota-se ainda a influência das baixas velocidades médias desenvolvidas, em razão da interferência dos serviços executados por outras empresas. No que tange ao espalhamento e compactação de material de jazida, fatores como dimensões da área ser trabalhada, tipo de material e escolha dos equipamentos também exercem forte efeito na produção horária. Nesse sentido, as construtoras que trabalham com terraplenagem, em obras de Subestação, costumam esboçar preocupação com as composições e produções horárias utilizadas, na fase de estimativa orçamentária, uma vez que estes dados têm impacto direto sobre o custo e o prazo da obra.

Eventuais reduções na produção horária, por exemplo, geram um custo horário maior para o construtor, reduzindo ou até anulando sua margem de lucro. Além disso, uma baixa produção horária, se não acompanhada por incremento de equipes, engendra também uma duração maior para execução dos serviços; afetando, assim, o prazo da obra e criando também um maior custo com Administração Local.

Sob o prisma acima aludido, este artigo objetiva expor cálculo da produção horária real de equipes de terraplenagem, numa Subestação. Para tanto, far-se-á uso dos dados de levantamento de campo obtido na obra Subestação Elevadora Morro do Chapéu Sul II 34,5/500kV (SE MCSII) e de pesquisa bibliográfica.

## 2. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO HORÁRIA DE EQUIPAMENTOS E EQUIPES DE TERRAPLENAGEM

### 2.1. TEMPO DE CICLO

Para RICARDO e CATALANI (2007, p.21), “pode-se definir terraplenagem ou movimento de terras como o conjunto de operações necessárias à remoção do excesso de terra para locais onde esta esteja em falta, tendo em vista um determinado projeto a ser implantado”.

“A execução dos serviços de terraplenagem envolve a realização das seguintes operações principais: Escavação, carregamento ou carga, transporte, descarregamentos ou descarga e espalhamento e compactação de aterros.” (BRASIL, 2017a, p.3).

“O trabalho dos equipamentos de terraplenagem se repete através do tempo, de forma cíclica, isto é, terminada uma sequência de operações, inicia-se a seguinte, na mesma ordem anterior.” (RICARDO e CATALANI, 2007, p.123).

“O ciclo é, portanto, o conjunto de operações que o equipamento executa num certo período de tempo, retornando por fim à posição inicial para executá-las novamente” (MATTOS, 2006. P. 148). O conhecimento deste tempo, bem como da quantidade de serviço executada, são fatores fundamentais para cálculo da produtividade dos equipamentos.

### 2.2. PRODUTIVIDADE

A produtividade de uma equipe, pessoa ou equipamento é definida por MATTOS (2006, p.70) como “a quantidade de unidades de trabalho produzida em um intervalo de tempo especificado, normalmente hora. A produtividade indica a eficiência em transformar energia (e tempo) em produto.” (MATTOS, 2006, p.70).

Contudo, além do tempo e da quantidade de serviço executada em um ciclo, outros fatores podem afetar a produção de um equipamento, como por exemplo tipo de material utilizado, experiência do operador, clima, manutenção mecânica, paradas não programadas da equipe, dimensionamento incorreto da patrulha, etc.. Estas variáveis podem reduzir o rendimento esperado e forçar a máquina a trabalhar menos tempo que o previsto.

Nesse cenário, surge o conceito de eficiência operacional, também conhecida como coeficiente de rendimento ou Fator de eficiência (Fe). Esta grandeza exprime o percentual de utilização efetiva do equipamento, na execução de uma determinada tarefa. Seu cálculo é feito conforme expressão (1):

$$Fe = \frac{\text{Horas efetivamente trabalhadas}}{\text{Horas efetivamente disponíveis}} \quad (1)$$

“A aplicação deste fator mostra-se necessária para incorporar ao modelo os tempos em alterações de serviço ou deslocamentos do equipamento entre frentes de trabalho, preparação das máquinas e atividades de manutenção, entre outros.” (BRASIL, 2017b, p.26)

É importante destacar que o Fe não incorpora tempos de parada em face de chuvas ou de manutenção pesada. Por outro lado, esta grandeza sobraça tempos de parada para manutenção leve e lubrificação, espera por outras máquinas (nos casos de ciclos conjuntos), paradas provocadas pelo operador, paradas necessários para movimentação, posicionamento e/ou espera para início dos trabalhos.

### 2.3. FATORES DE CORREÇÃO

O SICRO trabalha com três fatores de correção, no cálculo da produtividade dos equipamentos, a saber: Fator de eficiência (Fe), Fator de conversão (Fcv) e Fator de carga (Fca).

#### a) Fator de Eficiência

O Fator de eficiência, como visto no item 2.2, “trabalha a relação entre a o tempo de produção efetiva e o tempo de produção nominal do equipamento” (BRASIL, 2017b, p.26 Segundo RICARDO e CATALANI (2007, p.136), “constata-se que os fabricantes admitem valor máximo  $Fe = 0,83$  ou  $Fe = 50/60$ , o que corresponde ao trabalho efetivo de 50 min para cada hora (ou 60 min) disponíveis de operação”.

#### b) Fator de conversão

O Fator de conversão (Fcv), também conhecido como fator de empolamento dos solos, é o parâmetro que relaciona o volume do material, em seu estado natural, com o volume solto. O SICRO adota fator de conversão igual a 0,80, para materiais de 1ª categoria, 0,72 para 2ª categoria e 0,57 para 3ª categoria. Frisa-se, entretanto, que, dependendo do tipo de solo, este fator pode assumir valores distintos e que os dados do SICRO são apenas referenciais. Solos argilosos, por exemplo, podem atingir  $Fcv=0,71$  e solos arenosos 0,89.

**Tabela 1:** Fator de Conversão

Tipos de Solo	Fcv
Solos argilosos	0,71
Terra comum seca (solos argilo-siltosos com areia)	0,80
Terra comum úmida	0,80
Solo arenoso seco	0,89

Fonte: Adaptado de RICARDO e CATALANI (2007, p.34)

#### c) Fator de Carga

O Fator de carga (Fca) relaciona a capacidade efetiva com a capacidade geométrica do equipamento. O SICRO emprega Fca igual 0,90, 0,80 e 0,70 para materiais de 1ª, 2ª e 3ª categoria, respectivamente. Nos casos de caminhões basculantes, todavia, o SICRO utiliza Fca igual 1,00 para os três tipos de solos. No que concerne as escavadeiras hidráulicas, o Fca é igual 1,00 para materiais de 1ª cat., 0,80 para 2ª cat. e 0,80 para solos moles.

### 2.4. METODOLOGIA DE CÁLCULO DA PRODUTIVIDADE DOS EQUIPAMENTOS DE TERRAPLENAGEM

#### 2.4.1 ESCAVADEIRAS

As unidades escavo-carregadoras são equipamentos que fazem a escavação e carga de material. Nos serviços de terraplenagem, normalmente, são utilizadas para efetuar serviços de “corte” de material e/ou escavação e carga de material de jazida. São exemplos de unidades escavo-carregadoras: escavadeiras, carregadeiras de rodas e retroescavadeiras.

No caso da escavadeira, “como acontece com qualquer outro equipamento de manipulação de materiais, a produção (...) depende da carga útil média da caçamba, do tempo médio do ciclo e da eficiência do trabalho”. (CATERPILLAR, 2000, p.5-157).

De acordo com BRASIL (2017a, p. 24), a produção horária das escavadeiras pode ser calculada pela fórmula abaixo:

$$P = \frac{60 \times C \times F_{ca} \times F_{cv} \times F_e}{T_c} \quad (2)$$

Onde: C é a capacidade da caçamba em m<sup>3</sup>;

F<sub>ca</sub> é o fator de carga;

F<sub>cv</sub> é fator de conversão;

F<sub>e</sub> é o fator de eficiência

T<sub>c</sub> é tempo total de ciclo em min.

#### **2.4.2. CAMINHÕES BASCULANTES**

##### **2.4.2.1. DIMENSIONAMENTO DA FROTA DE VEÍCULO**

“As unidades transportadoras são utilizadas em operação conjunta com as escavocarregadoras, realizando as operações básicas de transporte e de descarga” (RICARDO e CATALANI , 2007, p.190). O dimensionamento da quantidade de unidades de transporte é definido pela relação entre o tempo de ciclo de transporte e do tempo de ciclo de carga do veículo, conforme se verifica em (3). Esta relação visa maximizar a produção das unidades escavocarregadoras, reduzir tempos de espera e garantir um quantitativo de veículos de transporte compatível com a capacidade de escavação e carga.

$$N = \frac{T_c}{T_{carga}} \quad (3)$$

Onde: T<sub>c</sub> é o tempo de ciclo total de transporte;

T<sub>carga</sub> é o tempo de carga do veículo;

N é o número de unidades de transporte.

##### **2.4.2.2. TEMPO DE CARGA DAS UNIDADES DE TRANSPORTE**

O tempo de carga do veículo pode ser calculado em função do tempo de ciclo da unidade escavocarregadora e do número de ciclos que esta precisa efetuar para carregar completamente o caminhão basculante, consonante se vê em (4).

$$n = \frac{T_{cv}}{T_{ce}} \quad (4)$$

Onde: T<sub>ce</sub> é tempo de ciclo da unidade escavocarregadora;

T<sub>cv</sub> é o tempo de carga do veículo;

n é o número de ciclos que a unidade escavocarregadora executa.

##### **2.4.2.3. TEMPO DE IDA CARREGADO E TEMPO DE RETORNO CARREGADO**

Para cálculo do tempo de ciclo total de transporte é necessário obter, além do tempo de carga do veículo, os tempos de ida carregado, manobra, posicionamento, descarga e retorno vazio. O cálculo dos tempos de ida carregado e retorno vazio pressupõe o conhecimento de duas variáveis, a saber: velocidade média e distância percorrida. BRASIL (2017a, p. 20) propõe o seguinte modelo estatístico para definição da velocidade:

$$v = v_m \sqrt{1 - \left(\frac{x - x_m}{x_m}\right)^2} \quad (5)$$

Onde:  $v$  é a velocidade média;

$v_m$  é a velocidade média máxima (km/h);

$x_m$  é a distância onde ocorre a velocidade média máxima (m);

$x$  é a distância total percorrida (m).

De posse de  $v$  e de  $x$ , calcula-se os tempos de ida carregado e retorno vazio pelas fórmulas (6) e (7).

$$T_{ic} = \frac{0,06x}{v_{ida}} \quad (6)$$

$$T_{rv} = \frac{0,06x}{v_{retorno}} \quad (7)$$

Onde:  $v_{ida}$  é a velocidade média de ida carregado (km/h);

$v_{retorno}$  é a velocidade média de retorno vazio (km/h);

$x$  é a distância total percorrida (m);

$T_{ic}$  é o tempo de ida carregado (min);

$T_{rv}$  é o tempo de retorno vazio (min).

#### 2.4.2.4. TEMPOS DE MANOBRA, POSICIONAMENTO E DESCARGA

No que tange aos tempos de manobra, descarga e posicionamento, salienta-se que inexiste expressões de cálculo e que, geralmente, estes tempos são estimados a partir de bibliografias ou de dados apropriados de campo. BRASIL (2017a, p. 24) sugere tempo fixo de 5,11 min para caminhões basculantes de 14m<sup>3</sup> e que estejam transportando material de 1<sup>a</sup> categoria.

#### 2.4.2.5. TEMPO DE CICLO TOTAL

Calcula-se o tempo total de ciclo da unidade de transporte somando as parcelas decorrentes dos tempos de manobra, posicionamento, carga, transporte carregado, descarga e retorno vazio.

$$T_{c\ total} = T_{cv} + T_{mdp} + T_{ic} + T_{rv} \quad (8)$$

Onde:  $T_{cv}$  representa o tempo de carga do veículo;

$T_{mdp}$  representa o tempo de manobra, descarga e posicionamento;

$T_{ic}$  é o tempo de ida carregado (min);

$T_{rv}$  é o tempo de retorno vazio (min).

#### 2.4.2.6. PRODUÇÃO HORÁRIA

A produtividade ( $P$ ) das unidades de transporte, conforme se vê em (9), é estimada mediante conhecimento da capacidade de transporte do caminhão (volume transportado), do tempo de ciclo total e dos fatores de correção (fator de carga, fator de conversão e eficiência).

$$P = \frac{60CF_{ca}F_eF_{cv}}{T_{c\ total}} \quad (9)$$

### 2.4.3. CAMINHÃO IRRIGADEIRA

Os caminhões irrigadeira são veículos equipados com tanque e cuja finalidade é promover o umedecimento do material a ser compactado. Calcula-se a produção horária de um caminhão irrigadeira por meio da expressão (10).

$$P = \frac{60CF_e}{cT} \quad (10)$$

Onde: P é a produtividade em l/h do caminhão;

C representa a capacidade do tanque do caminhão em l;

F<sub>e</sub> é o fator de eficiência;

c é o consumo de água por unidade de serviço;

T é o tempo de ciclo total do caminhão, ou seja, é o somatório do tempo de carga, ida abastecido e retorno vazio.

### 2.4.4. MOTONIVELADORA

As motoniveladoras são “máquinas para acabamento da terraplenagem, sendo seu emprego muito diversificado. Por isso, é impraticável a determinação da estimativa de produção, a não ser para algumas tarefas simples, como o espalhamento e regularização de camadas de terra para a compactação, através de muitas passadas de ida e retorno da lâmina do equipamento”. (RICARDO e CATALANI, 2007, p.199)

Para BRASIL (2017c, p. 96), nas atividades de regularização de subleito<sup>5</sup>, a produtividade das motoniveladoras é calculada conforme (11).

$$P = \frac{60dLF_e}{nT} \quad (11)$$

Onde: P é a produtividade em m<sup>2</sup>/h;

d é o comprimento da área trabalhada pelo equipamento;

L é a largura útil da lâmina do equipamento;

F<sub>e</sub> é o fator de eficiência;

T é o tempo de ciclo;

n representa o número de passadas.

Em contrapartida, nos serviços de compactação de aterro a 100% do Proctor normal, BRASIL (2017d, p. 29) propõe a formulação (12) para cálculo da produção horária.

$$P = \frac{60eF_eLv}{n} \quad (12)$$

Onde: P é a produtividade em m<sup>3</sup>/h;

e é a espessura da área trabalhada pelo equipamento;

L é a largura útil da lâmina do equipamento;

F<sub>e</sub> é o fator de eficiência;

v representa a velocidade de ida da unidade aplaniadora;

n representa o número de passadas.

<sup>5</sup> Segundo o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (2010, p.2), regularização de subleito é a “operação destinada a conformar o leito estradal, transversal e longitudinalmente, obedecendo às larguras e cotas constantes das notas de serviço de regularização de terraplenagem do projeto, compreendendo cortes ou aterros até 20 cm de espessura.”

#### 2.4.5. TRATOR DE PNEUS

Os tratores de pneus equipados com grade de disco são máquinas que trabalham em conjunto com as unidades aplainadoras e com os caminhões irrigadeira. Através de sucessivas passadas, promovem, juntamente com as motoniveladoras, a homogeneização do material de subleito (nas operações de regularização do subleito) e a homogeneização das camadas de material para aterro.

A produtividade dos tratores de pneus, nos serviços de regularização de subleito, pode ser calculada por (13).

$$P = \frac{60F_e Lv}{n} \quad (13)$$

Onde:  $P$  é a produtividade em  $m^2/h$ ;

$L$  é a largura útil da lâmina do equipamento;

$F_e$  é o fator de eficiência;

$v$  representa a velocidade de ida da unidade aplainadora;

$n$  representa o número de passadas.

Para as atividades de compactação de aterro a 100% do Proctor normal, a produção horária destas unidades é obtida por (14).

$$P = \frac{60eF_e Lv}{n} \quad (14)$$

Onde:  $P$  é a produtividade em  $m^2/h$ ;

$e$  é a espessura da área trabalhada pelo equipamento;

$L$  é a largura útil da lâmina do equipamento;

$F_e$  é o fator de eficiência;

$v$  representa a velocidade de ida da unidade aplainadora.

$n$  representa o número de passadas.

#### 2.4.6 ROLO COMPACTADOR

“A compactação de um solo é a sua densificação por meio de equipamento mecânico, geralmente um rolo compactador” (PINTO, 2006, p.77). Os rolos compactadores utilizados nos serviços de terraplenagem, geralmente, são do tipo pé de carneiro. Analogamente aos tratores de pneus, a produção horária das unidades compactadoras pode ser estimada por (14) para os serviços de compactação de aterro e por (13) para as atividades de regularização de subleito.

### 2.5. METODOLOGIA DE CÁLCULO DA PRODUÇÃO HORÁRIA DAS EQUIPES

Os serviços de terraplenagem podem ser executados por um ou mais equipamentos e veículos previamente selecionados e dimensionados. Quando existe apenas um equipamento, a produção horária da unidade confunde-se com a produção horária da equipe. Por outro lado, quando se tem “ $n$ ” unidades trabalhando e cada uma exibindo uma produção horária distinta, a produção horária da equipe ou patrulha será igual a produtividade do equipamento com menor performance. Diz-se, nestes casos, que o equipamento de menor produção é o líder da equipe e que sua utilização operativa é igual a 1,00 (100%), não havendo improdutividade ou espera, durante a execução do seu ciclo. Os demais equipamentos, não obstante, terão utilização operativa inferior à 100%, conforme se observa em (15).

$$\text{Utilização Operativa} = \frac{Ph \text{ líder}}{Ph \text{ equip}} \quad (15)$$

Onde:  $Ph$  líder é a produtividade do equipamento que comanda a equipe;

$Ph$  equip é a produção horária dos demais equipamentos da patrulha.

Da expressão acima, conclui-se que “os demais equipamentos, com velocidade de produção distinta, precisam esperar por tempo determinado, a cada ciclo, para também produzir. Com isso, esses equipamentos apresentam parcela do tempo improdutivo.” Esta utilização improdutiva pode ser calculada pela expressão:

$$\text{Utilização improdutiva} = 1 - \text{Utilização Operativa} \quad (16)$$

## 2.6. PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO

Para cálculo de custos, cabe ao profissional de engenharia verificar o custo horário produtivo e improdutivo de suas máquinas. Na sequência, multiplica-se estes valores pelas utilizações operativas e improdutivas, respectivamente. Finalmente, para extração do custo unitário do serviço, divide-se o custo horário da equipe pela sua produção horária.

No que concerne a prazo, a duração das tarefas pode ser obtida com uso da expressão (35).

$$\text{Duração} = \frac{\text{Qtde de serviço}}{\text{Ph} \times n \times d} \quad (17)$$

Onde: Duração representa a quantidade de dias para execução da tarefa;

Qtde de serviço indica a quantidade de serviço a ser executada;

Ph é a produção horária da equipe;

n é a quantidade de equipes;

d é a quantidade de horas trabalhadas por dia.

## 3. ESTUDO DE CASO DA OBRA DE TERRAPLENAGEM DA SE MCSII

Os serviços de terraplenagem analisados, na SE MCSII, para efeito desta pesquisa, foram: escavação, carga e transporte de material de jazida, regularização de Subleito e compactação de aterro à 100% do Proctor Normal.

### 3.1 ESCAVAÇÃO E CARGA DE MATERIAL DE JAZIDA COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA

#### 3.1.1 EQUIPAMENTOS EMPREGADOS

Para os trabalhos de escavação e carga de material de jazida, na SE MCSII, foram alocadas três escavadeiras hidráulicas. Os tempos de ciclos de cada unidade foram aferidos em dias diferentes, tomindo-se a média dos valores encontrados para cálculo da produção horária. Nas alíneas abaixo, lista-se os equipamentos empregados e os parâmetros utilizados para cálculo da produção horária.

**Figura 1:** Escavação, carga e transporte de material de jazida

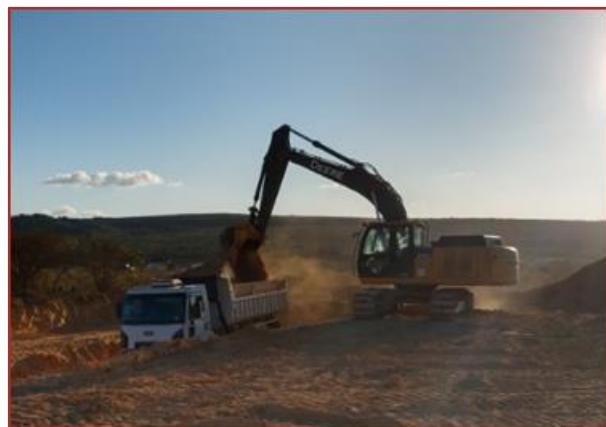


Fonte: Própria (2021).

**a) Escavadeira hidráulica Jeere 210LC**

- Parâmetros de cálculo adotados para o equipamento:
- Capacidade da caçamba:  $1,36m^3$ ;
- Fator de carga: 1,00;
- Fator de conversão: 0,80;
- Fator de eficiência: 0,83.
- Tempo de ciclo médio apropriado: 0,22 min.

**Figura 2:** Escavação e carga com escavadeira hidráulica Jeere 210LC



Fonte: Própria (2021).

Substituindo os dados acima em (2), obteve-se a seguinte produção horária para esta unidade:

$$P = 246,30m^3/h \quad (18)$$

**b) Escavadeira hidráulica komatsu PC200**

Parâmetros de cálculo adotados para o equipamento:

- Capacidade da caçamba:  $1,20m^3$ ;
- Fator de carga: 1,00;

- Fator de conversão: 0,80;
- Fator de eficiência: 0,83;
- Tempo de ciclo médio apropriado: 0,17 min.

**Figura 3:** Escavação e carga com escavadeira hidráulica Komatsu PC200



Fonte: Própria (2021).

Substituindo os dados acima em (2), chegou-se a seguinte produtividade:

$$P = 281,22m^3/h \quad (19)$$

#### c) Escavadeira hidráulica Hyundai 210LC-07

- Dados do Equipamento e fatores de correção adotados:
- Capacidade da caçamba: 0,92m<sup>3</sup>;
- Fator de carga: 1,00;
- Fator de conversão: 0,80;
- Fator de eficiência: 0,83;
- Tempo de ciclo médio apropriado: 0,23 min.

**Figura 4:** Escavação e carga com escavadeira hidráulica Hyundai 210LC-07



Fonte: Própria (2021).

Substituindo os dados acima em (2), extraiu-se a produção horária de:

$$P = 159,36m^3/h \quad (20)$$

### 3.2. TRANSPORTE DE MATERIAL DE JAZIDA

#### 3.2.1. TEMPO DE CICLO

O transporte do material de jazida foi efetuado, na SE MCSII, por frota de caminhões basculantes com capacidade média de  $14m^3$  e que percorreram 13,5km de DMT<sup>6</sup> da jazida até o platô da Subestação. O percurso das unidades foi executado em dois tipos de caminho de serviço, a saber:

- 6,50 km em via pavimentada;
- 7 km em via com revestimento primário.
- 

##### a) Tempo de manobra, descarga e posicionamento

Para os tempos de manobra, descarga e posicionamento, os dados de campo chegaram aos seguintes valores para escavação e carga usando a escavadeira hidráulica Hyundai 210LC-07 e caminhões basculantes de  $14m^3$ :

**Tabela 2:** Tempo de carga, manobra e posicionamento

Tempos apropriados	Total (min)
Tempo de manobra e posicionamento na jazida da unidade de transporte	1,25 min
Tempo de carga médio do basculante	3,45 min
Tempo de “enlonamento” da unidade de transporte	1,47 min
Tempo de posicionamento e retirada da lona	0,67 min
Tempo de posicionamento e descarga no platô	1,0 min

Fonte: Própria (2021).

A soma destes tempos resultou em:

$$T_{mdp} + T_{cv} = 7,84 \text{ min} \quad (21)$$

Do exposto, nota-se que o tempo total de permanência para manobra, posicionamento e carga, na jazida, foi de 4,70min.

##### b) Tempo de ida carregado

O tempo de ida carregado foi calculado empregando-se (5) e (6). Para tanto, tomou-se os seguintes parâmetros:

- Via pavimentada
- $v_m$  igual a 60 km/h;
- $x$  igual a 6500m;
- $x_m$  igual a 4500m.

Substituindo-se os dados acima em (5) e (6), chegou-se à:

$$T_{ic} = 7,26 \text{ min} \quad (22)$$

- Via com revestimento primário
- $v_m$  igual a 30 km/h;
- $x$  igual a 7000m;
- $x_m$  igual a 5000m.

Substituindo-se os dados acima em (5) e (6), obteve-se:

<sup>6</sup> Distância Média de Transporte

$$T_{ic} = 15,28 \text{ min} \quad (23)$$

### c) Tempo de retorno vazio

O cálculo do tempo de retorno foi efetuado com auxílio de (5) e (7). Analogamente ao item anterior, os parâmetros utilizados foram:

- Via pavimentada
- $v_m$  igual a 80 km/h;
- $x$  igual a 4500m;
- $x_m$  igual a 3500m.

Substituindo-se os dados acima em (5) e (7), alcançou-se:

$$T_{rv} = 5,44 \text{ min} \quad (24)$$

- Via com revestimento primário
- $v_m$  igual a 40 km/h;
- $x$  igual a 7000m;
- $x_m$  igual a 5000m.

Substituindo-se os dados acima em (5) e (7), chegou-se à:

$$T_{rv} = 11,46 \text{ min} \quad (25)$$

### d) Tempo de ciclo total de transporte

O tempo de ciclo total foi calculado pela soma (20), (21), (22), (23) e (24):

$$T_{c\ total} = 47,28 \text{ min} \quad (26)$$

### 3.2.2 PRODUÇÃO HORÁRIA

Para cálculo da produção horária dos caminhões, assumiu-se os parâmetros listados abaixo:

- Capacidade da caçamba: 14m<sup>3</sup>;
- Fator de carga: 1,00;
- Fator de conversão: 0,80;
- Fator de eficiência: 0,83;
- Tempo de ciclo total: 47,28 min.

Substituindo os dados acima em (9), esta pesquisa chegou a produção horária de:

$$P = 11,80 \text{ m}^3/\text{h} \quad (27)$$

### 3.2.3 NÚMERO DE UNIDADES DE TRANSPORTE

O cálculo do número de unidades de transporte foi extraído com auxílio do tempo de ciclo total (26) e do tempo de carga (obtido por meio da tabela 2). Substituindo-se estes valores em (3), alcançou-se o seguinte número de unidades de transporte para a escavadeira:

$$N = \frac{47,28}{4,70}$$

$$N = 10 \text{ unid. de transporte Escavadeira Hyundai 210LC - 07} \quad (28)$$

Cálculo análogo deve ser feito considerando as outras duas unidades de escavação. Para efeito, desta pesquisa, todavia, será apresentado somente o cálculo para a Hyundai 210 LC-07.

### 3.3 REGULARIZAÇÃO DE SUBLEITO

Na SE MCSII, empregou-se uma patrulha composta de uma motoniveladora, um trator de pneus com grade de disco, dois caminhões irrigadeira e um rolo compactador. Nas alíneas abaixo, detalhar-se-á os parâmetros de cálculo aplicados para cada equipamento citado, bem como suas respectivas produções horárias.

**Figura 5:** Regularização de Subleito



Fonte: Própria (2021).

#### a) Motoniveladora 12k Caterpillar

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Comprimento da área trabalhada (d): 120m;
- Largura de útil de operação (L): 3,90m;
- Tempo de ciclo (T) apropriado em campo: 3,69min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 5;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

**Figura 6:** Motoniveladora 12k



Fonte: Própria (2020).

Substituindo os dados acima em (11), chegou-se a produtividade de:

$$P = 1.263,22 m^2/h \quad (29)$$

### b) Trator de Pneus valtra BH165 com grade de disco

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Comprimento da área trabalhada (d): 120m;
- Largura de útil de operação (L): 2,72m;
- Tempo de ciclo (T) apropriado em campo: 3,30min;
- Velocidade de ida ( $v=d/T/2$ ): 72,73m/min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 4;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

**Figura 7:** Trator de pneus com grade de disco



Fonte: Própria (2020).

Substituindo os dados acima em (13), chegou-se à:

$$P = 2.462,93m^2/h \quad (30)$$

### c) Caminhão Irrigadeira

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Capacidade (C): 20.000L;
- Consumo (c): 9,64L/m<sup>3</sup>;
- Tempo de ciclo total (T) apropriado em campo: 171,11min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 8;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

**Figura 8:** Caminhão irrigadeira



Fonte: Própria (2020).

Substituindo os dados acima em (10), obteve-se:

$$P = 603,82m^2/h \quad (31)$$

Como a obra possuía dois caminhões, a produção horária destas unidades foi de  $1.207,64m^2/h$ .

#### d) Rolo Compactador Bomag BW 212

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Comprimento da área trabalhada (d): 120m;
- Largura de útil de operação (L): 1,93m;
- Tempo de ciclo (T) apropriado em campo: 3,28min;
- Velocidade de ida ( $v=d/T/2$ ): 73,17m/min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 6;
- Fator de eficiência ( $Fe$ ) adotado: 0,83.

**Figura 9:** Rolo compactador



Fonte: Própria (2020).

Substituindo os dados acima em (13), extraiu-se a produtividade de:

$$P = 1.172,11m^2/h \quad (32)$$

#### 3.4 COMPACTAÇÃO DE ATERRO

No que tange aos serviços de compactação, a obra de terraplenagem da SE MCSII utilizou duas patrulhas. Cada patrulha era composta por uma motoniveladora, um trator de pneus com grade de disco, três caminhões irrigadeira e um rolo compactador tipo pé de carneiro. O material de empréstimo, trabalhado por estas equipes, foi classificado, de acordo com sistema HBR, como A-4, apresentando acentuada

predominância de finos, sobretudo argila. Além disso, o material exibiu umidade ótima de 12% e demandou consumo de água da ordem de 97,90L/m<sup>3</sup>.

Cumpre destacar que, durante a homogeneização do material, observou-se um elevado número de passadas da motoniveladora e do trator de pneus, de modo a deixar o material na umidade ótima e em condições de compactação. Tal cenário gerou uma situação produtiva onde a motoniveladora comandou a produção da equipe e não o rolo compactador, como é usual nas composições do SICRO, por exemplo.

Nas alíneas abaixo, serão listados, à guisa do item 3.3, os equipamentos utilizados, tempos de ciclo, número de passadas e as produções alcançadas para cada máquina.

### a) Motoniveladora 120k, potência 108kW

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Comprimento da área trabalhada (d): 80m;
- Espessura (e) da área trabalhada: 0,20m;
- Largura de útil de operação (L): 3,40m;
- Tempo de ciclo (T) apropriado em campo: 2,12min;
- Velocidade de ida ( $v=d/T/2$ ): 75,47m/min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 15;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

**Figura 10:** Motoniveladora 120K



Fonte: Própria (2020).

Substituindo os dados acima em (12), chegou-se à:

$$P = 170,38 \text{ m}^3/\text{h} \quad (33)$$

### b) Trator de Pneus Massey Gerguson 7140 com grade de disco

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Comprimento da área trabalhada (d): 80m;
- Espessura (e) da área trabalhada: 0,20m;
- Largura de útil de operação (L): 2,72m;

- Tempo de ciclo (T) apropriado em campo: 1,62min;
- Velocidade de ida ( $v=d/T/2$ ): 98,77m/min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 14;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

**Figura 2:** Trator de pneus



Fonte: Própria (2020).

Substituindo os dados acima em (14), obteve-se uma produtividade de:

$$P = 191,13 \text{ m}^3/\text{h} \quad (34)$$

### c) Caminhão irrigadeira

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Capacidade (C): 20.000L;
- Consumo (c): 97,90L/m<sup>3</sup>;
- Tempo de ciclo total (T) apropriado em campo: 160min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 12;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

Substituindo os dados acima em (10), obteve-se a seguinte produção:

$$P = 63,59 \text{ m}^3/\text{h} \quad (35)$$

Como a obra possuía três caminhões, a produção horária destas unidades era de 190,75m<sup>3</sup>/h.

### d) Rolo Compactador Atlas Copco CA250

Parâmetros de cálculo apropriados:

- Comprimento da área trabalhada (d): 80m;
- Largura de útil de operação (L): 1,93m;
- Tempo de ciclo (T) apropriado em campo: 2,08min;
- Velocidade de ida ( $v=d/T/2$ ): 76,92m/min;
- Número de passadas (n) apropriadas em campo: 3;
- Fator de eficiência (Fe) adotado: 0,83.

**Figura 12:** Rolo Compactador Atlas Copco CA250



Fonte: Própria (2020).

Substituindo os dados acima em (14), chegou-se à produtividade de:

$$P = 492,87m^3/h \quad (36)$$

#### 4. RESULTADOS

A produtividade das unidades de escavação, conforme demonstrado em 3.1, foi de  $246,30m^3/h$ ,  $281,22m^3/h$  e  $159,36m^3/h$ . Nos dois primeiros resultados, frisa-se que os equipamentos possuíam maior capacidade de carga (*vide* alínea “a” e “b” do item 3.1.1). Ademais, num paralelo com as composições de referência rodoviária, nota-se que a produtividade das duas primeiras unidades foi superior à indicada na composição 4016096<sup>7</sup> do SICRO, na qual uma escavadeira com capacidade de carga de  $1,56m^3$  produz  $230,19m^3/h$ .

Com relação ao transporte, viu-se em 4.2.2 que a obra alcançou uma produção de  $11,80m^3/h$  ou  $159,3m^3 \times km/h$ . Confrontando este resultado com a composição 93592 do SINAPI, que exibe um valor de  $153,85m^3 \times km/h$ , tem-se uma produtividade superior à de referência orçamentária da CAIXA.

No que concerne à regularização de subleito, nota-se que o rolo compactador apresentou a menor produção horária; sendo, com efeito, o líder da equipe. Nesse contexto, sua utilização operativa foi igual a 1,00 (100%), ao passo que os demais equipamentos apresentaram, por consequência, utilização produtiva inferior a 1.

<sup>7</sup> Código da Composição constante no Relatório Analítico de Composições de Custo do SICRO para o estado da Bahia (Data base: julho de 2020).

**Tabela 1:** Produção horária da Equipe

Variáveis Intervenientes	Unidade	Serviço:	Regularização do subleito		
		Prod. Hor.:	1.172,11	Unid:	m2
Caminhão irrigadeira	Motoniveladora, Modelo 12k, Pot. 108kW			Trator com grade de disco valtra bh 165	Rolo Pé de Carneiro Bomag bw 212
Capacidade	l	20.000,00			
Consumo	l/m3	9,64			
Distância	m		120,00	120,00	120,00
Fator de eficiência		0,83	0,83	0,83	0,83
Largura de Operação	m		4,20		2,13
Largura de Superposição	m				0,20
Largura Útil	m		3,90	2,72	1,93
Número de fechadas		8,00	5,00	4,00	6,00
Tempo fixo	min	111,11			
Tempo de ida	min	50,00			
Tempo de retorno	min	10,00			
Tempo total de ciclo	min	171,11	3,69	3,30	3,28
Velocidade de ida	m/min			72,73	73,17
<b>Produção horária</b>		<b>1.207,64</b>	<b>1.263,22</b>	<b>2.462,93</b>	<b>1.172,11</b>
<b>Número de Unidades</b>		<b>2,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
<b>Utilização Operativa</b>		<b>0,97</b>	<b>0,93</b>	<b>0,48</b>	<b>1,00</b>
<b>Utilização Improdutiva</b>		<b>0,03</b>	<b>0,07</b>	<b>0,52</b>	<b>0,00</b>
<b>Produção da Equipe</b>		<b>1.172,11</b>	<b>1.172,11</b>	<b>1.172,11</b>	<b>1.172,11</b>

Fonte: Própria (2021).

Observa-se ainda que a produtividade real de 1.172,11m<sup>2</sup>/h (ver item 3.3) foi muito semelhante à da composição 4011209 do SICRO/DNIT, cujo valor é de 1.121,33m<sup>3</sup>/h. Salienta-se, contudo, que a patrulha listada pelo SICRO possui dois rolos compactadores e dois caminhões irrigadeira com capacidade de 10.000L. A equipe da SE MCSII, por outro lado, possuía apenas um rolo compactador e dois caminhões irrigadeira de 20.000 L. Apesar da maior capacidade dos caminhões irrigadeira, é possível afirmar que a equipe conseguiu perfomar, com menos recursos de compactação, índices quase idênticos aos do SICRO.

Finalmente, no que toca ao serviço de compactação, nota-se que a motoniveladora apresentou a menor produção horária (170,38m<sup>3</sup>/h) e foi, por conseguinte, a líder do serviço de compactação. Isto se deve sobretudo ao material de jazida que foi utilizado, cujo alto consumo de água (97,90m<sup>3</sup>/h) demandou mais passadas do caminhão irrigadeira e mais passadas, consequentemente, da motoniveladora e do trator de pneus. A título de ilustração, no SICRO, o consumo de água é de somente 53,00L/m<sup>3</sup> e o número de passadas da motoniveladora para tombamento e homogeneização do material é de apenas 6. (BRASIL (2017d, p. 29).

**Tabela 2:** Produção horária da equipe de compactação

Variáveis Intervenientes	Unidade	Serviço:	Compactação de aterro a 100% do Proctor Normal		
		Prod. Hor.:	170,38	Unid:	m3
		Caminhão irrigadeira	Motoniveladora, Modelo 120k, Pot. 108kW	Trator com grade de disco	Rolo Pé de Carneiro
Capacidade	l	20.000,00			
Consumo	l/m3	97,90			
Distância	m		80,00	80,00	80,00
Espessura	m		0,20	0,20	0,20
Fator de eficiência		0,83	0,83	0,83	0,83
Largura de Operação	m		3,70		2,13
Largura de Superposição	m				0,20
Largura Útil	m		3,40	2,72	1,93
Número de passadas		12,00	15,00	14,00	3,00
Tempo fixo	min	100,00			
Tempo de ida	min	50,00			
Tempo de retorno	min	10,00			
Tempo total de ciclo	min	160,00	2,12	1,62	2,08
Velocidade de ida	m/min		75,47	98,77	76,92
<b>Produção horária</b>		<b>190,75</b>	<b>170,38</b>	<b>191,13</b>	<b>492,87</b>
<b>Número de Unidades</b>		<b>3,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
<b>Utilização Operativa</b>		<b>0,89</b>	<b>1,00</b>	<b>0,89</b>	<b>0,35</b>
<b>Utilização Improdutiva</b>		<b>0,11</b>	<b>0,00</b>	<b>0,11</b>	<b>0,65</b>
<b>Produção da Equipe</b>		<b>170,38</b>	<b>170,38</b>	<b>170,38</b>	<b>170,38</b>

Fonte: Própria (2021)

Além disso, percebe-se novamente uma produção bastante parecida com do SICRO (que é de 168,20m<sup>3</sup>/h (BRASIL (2017d, p. 29). Esta similaridade, entretanto, disfarça uma performance acima do esperado, pois este aterro foi executado em área confinada (platô de uma subestação), ao passo que, em obras rodoviárias, tem-se um espaço maior para movimentação das máquinas.

## 5. CONCLUSÃO

Este artigo objetivou apresentar a metodologia de cálculo de produtividades e sua aplicação, num caso real de uma Subestação. Nesse sentido, apresentou contribuição para profissionais de engenharia, na medida em que forneceu resultados de produtividade de diferentes serviços; mostrando, inclusive, suas diferenças e similaridades com relação aos dados de referência rodoviária.

Por oportuno, salienta-se que os resultados encontrados neste estudo de caso não podem ser generalizados e que cada Projeto possui suas vicissitudes. Por outro lado, os resultados obtidos podem servir para fomentar a discussão sobre o tema da produtividade em obras de terraplenagem e para, eventualmente, incentivar a análise de outros projetos similares.

Nesse contexto, esta pesquisa pode moldar-se como base para outros estudos e, nestes casos, sugere-se a análise dos dados sob outros pontos de vista, de modo a expor diferentes problemáticas e respectivas soluções. Afim de melhor descortinar o tema, sugere-se, inclusive, a análise de empreendimentos de Galpões, Supermercados e outros que demandem serviços de terraplenagem nas áreas onde serão construídos. Estes trabalhos poderão ter como foco o cálculo da eficiência dos equipamentos. Outro estudo que também pode ser efetuado diz respeito aos efeitos das chuvas nas obras de terraplenagem. Para este último caso, sugere-se um exame das consequências climáticas sobre o orçamento e cronograma das obras. Naturalmente, os resultados encontrados poderão ser cotejados, em pesquisas futuras, e isto aumentará o arcabouço de conhecimento sobre produção horária dos equipamentos de terraplenagem.

Ademais, o estudo continuado da produção horária de equipamentos permitirá um melhor entendimento acerca do dimensionamento para diferentes obras. Outro ponto é que proporcionará a construção de uma base de conhecimento mais sólida e mais ampla sobre a produtividade das máquinas, fomentando discussões e busca de soluções e criando profissionais cada vez mais preparados para o estudo e dimensionamento dos equipamentos.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes. 1. ed: Brasília, 2017a. v.10
- [2] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes. 1. ed: Brasília, 2017b. v.1
- [3] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes. 1. ed: Brasília, 2017c. v.12. Tomo 4.
- [4] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes. 1. ed: Brasília, 2017d. v.12. Tomo 5.
- [5] BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. BA 07-2020 Relatório Analítico de Composições de Custo. Brasília, 2020.
- [6] CATERPILLAR. Manual de produção Caterpillar. Edição 31. Peoria, EUA, 2000.
- [7] DEPARTAMENTO ESTADUAL DE LICITAÇÕES E OBRAS PÚBLICAS. Composição de Preço de Serviço. 2021. Disponível em:  
[http://orse.cehop.se.gov.br/composicao.asp?font\\_sg\\_fonte=SINAPI&serv\\_nr\\_codigo=93592&peri\\_nr\\_ano=2020&peri\\_nr\\_mes=11&peri\\_nr\\_ordem=1](http://orse.cehop.se.gov.br/composicao.asp?font_sg_fonte=SINAPI&serv_nr_codigo=93592&peri_nr_ano=2020&peri_nr_mes=11&peri_nr_ordem=1). Acesso em: 14 de fevereiro de 2021, às 16:55.
- [8] INSITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIA. Norma DNIT 137/2010 ES. Rio de Janeiro, p.2, 210.
- [9] MATTOS, Aldo Doréa. Como preparar orçamentos de obras. 1. ed. São Paulo: Pini, 2006.
- [10] MAIA, Victor. Engenharia: Obras Rodoviárias – SICRO. 2019. Disponível em:  
[https://eduqc.com.br/concursos/engenharia/obras-rodoviarias-sicro/#d\\_Tempo\\_Operativo\\_vs\\_Tempo\\_Improdutivo](https://eduqc.com.br/concursos/engenharia/obras-rodoviarias-sicro/#d_Tempo_Operativo_vs_Tempo_Improdutivo). Acesso em: 08 de fevereiro de 2021, às 14:37.
- [11] PINTO, Carlos de Sousa. Curso Básico de Mecânica dos Solos. 3. Ed. São Paulo: Oficina de textos, 2006.
- [12] RICARDO, Hélio de Sousa; CATALANI, Guilherme. Manual Prático de Escavação, Terraplenagem e Escavação de Rocha. 3. Ed: São Paulo, 2007.

# *Capítulo 10*

## *The role of public agricultural research in the local wine production system in the Valley of São Francisco*

*Samuel Carvalho de Azevedo Marques*

**Abstract:** Agricultural research is a key element for the development of agribusiness. Research organizations support productivity in the agricultural sector. This work aims to situate the role of the Brazilian Agricultural Research Corporation in the wine industry in the São Francisco Valley, Northeast Brazil. The studies selected based on a literature review treat of public agricultural research organizations. The articles found in the ScienceDirect, and Portal da Capes databases were selected according to eligibility criteria. The data and results indicated that this type of organization has a prominent role in the agricultural sector. From this, it is concluded that agricultural research if absorbed by agribusiness can be an important source of innovation in local wine production.

**Keywords:** Research organizations; EMBRAPA; Wine production; São Francisco Valley.

## 1. INTRODUCTION

The first introduction of grapevines in Brazil was made by Portuguese colonists in 1532, through Martin Afonso de Souza, in the then Captaincy of São Vicente, today the State of São Paulo. In the State of Rio Grande do Sul, the cultivation of wine varieties was encouraged through government stimuli.

Grape production reached 1.5 million tons / year. With about 50% it is destined for processing, to produce wines, juices and other derivatives, and 50% marketed as table grapes. Of the total industrialized products, 42% are table wines and 49% are grape juices, about 7% are fine wines.<sup>[1]</sup>

Brazilian tropical viticulture was effectively developed in the 1960s, with the planting of commercial table grape vineyards in the São Francisco River Valley region, in the Brazilian semi-arid northeast<sup>[2]</sup>. Currently, the São Francisco valley region is considered the main tropical wine region in Brazil and Brazil is at the forefront of research on tropical wines.

According to Berger<sup>[3]</sup> Embrapa, a Brazilian public agricultural research company, has a fundamental role in the agribusiness segment through research and its dissemination, contributing to the implementation of new technologies, through its products, processes, technological assets and services. The company is part of the National Agriculture Innovation System.

According to Mendes<sup>[4]</sup> "the approach of the National Agricultural Research System has as its central axis the articulation for the generation of knowledge." The Information and Knowledge Agriculture System goes beyond generation and focuses on the dissemination of knowledge. In turn, the Innovation System in Agriculture "integrates the generation, diffusion and use of knowledge"

Embrapa identified as a component of the system is part of the network<sup>[5]</sup> of collaborations in the agro-industrial productive environment. Acting as a source of information, generation and dissemination of knowledge for innovation in the system. The interaction with the agricultural industry is a routine of the company in processes of generation, accumulation, use and diffusion of knowledge and innovations<sup>[6,7,8]</sup>. These interactions occur in the grape and wine sector traditionally in several wine regions in Rio Grande do Sul and more recently in northeastern Brazil, in the São Francisco Valley, Brazilian semiarid<sup>[9,10]</sup>.

This study considers the importance of agribusiness and agribusiness in Brazil and in the world<sup>[11,12]</sup>, either due to the natural resources involved in food production or the importance of this sector for the Brazilian and regional economy<sup>[13]</sup>. The sector has an impact on job creation, income generation for families, and on social development and sustainability. In this sense, the incorporation of more modern and innovative technologies in agro-industrial activities is a current challenge.

### 1.1. AGRICULTURAL INNOVATION IN LOCAL WINE PRODUCTION SYSTEMS

Embrapa Semiárido<sup>[14]</sup> as other research units of the company interact with agribusiness companies and producers in Brazil and in the São Francisco Valley. This interaction disseminates technological solutions created in each different local production system in the country. Research works deal with clusters or Local Production Systems (SLP) in Brazil, as studies and research by Suzigan<sup>[15]</sup>. The author presents methodology for the identification and delimitation of SLPs. What was relevant to study the proposed region and place the study in current literature. The elements of the local production system discussed in the literature apply to regions defined as a zone of wine production.

According to Suzigan<sup>[16]</sup>, a cluster or SLP refers to a geographic agglomeration of many companies of different sizes, with the presence of small companies, manufacturers of a type of product or similar products and their respective suppliers and service providers. There are several possible configurations for this phenomenon and some form of public or private governance, or some form of coordination, prevails. The agents involved [companies, institutions, research centers] have "geographical proximity", which would be essential for the coordination and "dissemination of new knowledge".

When these systems include public or private institutions focused on education, training, research, engineering, and financing, they are configured as Local Productive and Innovative Systems. According to Lastres and Cassiolato<sup>[17]</sup> these territorial systems involve learning, supply relations, services, trade, representation of interests and association. They would be clusters of economic, political, and social agents involving producers of goods and services, inputs and equipment.

In the Embrapa system, there is research in agriculture that involves the production of knowledge<sup>[18]</sup>; intermediate actors facilitating the process of transferring knowledge and technologies between the

segments; agribusiness organizations in the value chain that take advantage of RD&I results<sup>[19]</sup> and produce their own independent innovations.

Schumpeter presented a perspective of "inclusion of the State in the list of agents of technological innovation" referring "specifically to the United States, whose agrarian economy was repeatedly revolutionized by the new methods developed and disseminated by government agencies of its Department of Agriculture." The innovation phenomenon would have an institutional character<sup>[20,21,22,23]</sup>. In a neo-Schumpeterian approach to technological diffusion, diffusion conceived as an integral part of the innovation process is central.

Rosenberg<sup>[4]</sup> points out conditioning factors of the innovation process, which involve suppliers and users, such as improvement of inventions, development of technical skills, development of skills in the manufacture of machines, institutional context, among others, "may hinder or facilitate the process of diffusion of innovations".

In the area of innovation classic and contemporary authors, among them, Schumpeter, Nelson, Freeman, Porter, Mazzucato and Tigre identified different elements affecting innovation in different times and places. In the vitivinicultural sector in the São Francisco Valley, the cooperation and research of Embrapa Semiárido will be identified in the table grapes, fine wines and grape segment as catalysts for strengthening the local industry.

The purpose of the work is to situate the role of the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa) in the wine industry in the São Francisco Valley. Indicating the possibility of verifying the hypothesis of direct interaction with producers and correlation with the competitiveness of products launched on the market.

The problem concerns the hypothesis of framing agricultural research<sup>[24,25]</sup> institutions in local wine production systems. Through research carried out by Embrapa Semiárido, EMBRAPA's local unit in the São Francisco Valley wine region, in northeastern Brazil. Considering the diffusion of knowledge and technologies made by Embrapa and the resulting innovations in the Local Production System under analysis.

## 2. METHODOLOGY

This study is a qualitative research approach, in the form of a case study. The subjects are linked to the management and industrial production of wines in the São Francisco valley, in the state of Bahia and Pernambuco. Participants are oenologists, managers and researchers who work in the region's wine production environment.

The concept adopted is based on a constructivist perspective and aims to capture the understanding of the participants in the construction of the local production system in the region. We intend to interpret the meaning of the individual and organizational experiences of these actors in the region<sup>[26]</sup>. The research process privileges the meanings and data shared by the participants.

The strategy proposed in conducting the investigation as a Case Study aimed to explore in depth the productive process in the sector and the problem of the diffusion of knowledge and technologies of Embrapa Semiárido and the consequent innovations in the Local Production System in the wine region of the São Francisco Valley. A set of data is used through interviews, documents, and texts.

In this exploratory approach to the wine context in the region, we seek to elaborate an analysis of the role of the Brazilian Agricultural Research Corporation in the local wine production system in the Valley of San Francisco based on testimonials and data, seeking the trajectory of the evolution of the wine industry in the region.

The data sources are the local participants in the production system, researchers, government, published documents and reports released by the sources above. Data collection procedures are interviews with open questions conducted with participants. These direct materials are added to publications in the EMBRAPA database. Using interview, observation and consent forms for data collection.

The organization of the collected data is followed by the analysis of the information provided by the participants. With the perspectives found and the data were organized after the transcriptions and coded according to the theme located in the interviews. The related themes can thus generate an interpretation of the meanings of the descriptions obtained based on the participants.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

We discovered with research a positive link between the performance of several actors in the wine region. Among Embrapa Semiárido researchers, agents of the federal government, teaching, and research institutions, such as Universities, industrial companies in the wine sector. This connection may have resulted in the region's economic growth and the interest of local companies. These connections occur through the diffusion of technologies and knowledge in the field of agricultural research for vitiviniculture.

The interactions in the production system and the decisions in the context of the system according to the data can have an impact on regional performance in the area of wine production.

In the São Francisco Valley, the area with vines increased by 26.75%, in Pernambuco. The production was 390.3 thousand tons of grapes in 2017, an increase of 60.64%, compared to the previous year. In Bahia, which in the years 2005 to 2007 had exceeded 100 thousand tons of grape production, in 2017 it produced only 51.09 thousand, according to data from Comunicado-Técnico-207.

Studies published by EMBRAPA and its researchers through the institution's publications have reflected on agricultural research, a science technology and innovation policy linked to agriculture and agribusiness. Understand in the study that the Local Production System in San Francisco is circumscribed in terms of its production using innovation.

According to Mendes<sup>[4]</sup> the "agricultural research system integrates or the innovation system in agriculture. Agricultural research is one of the instruments of the Brazilian government's agricultural policy" in context of the National Agricultural Research System and under the coordination of the Brazilian Agricultural Research Corporation.

According to Sampaio et al<sup>[27]</sup> "An innovation and, especially, a technology, were considered as the differential factor of participation between companies and even countries" Based on studies by Lundvall and Freeman, as an approach to the term innovation, an innovation system is presented as a set of institutions that collaborate for the development of the "capacity for innovation and learning of a segment, sector, locality, region or even country".

The dissemination and use of knowledge are "elements and relationships that interact in the production process" <sup>[27]</sup>. In this way, in a company, innovation processes are "generated and sustained by its relations with other companies and organizations".

This resource found in the study is innovative, while a "systemic and interactive phenomenon, includes different types of cooperation and interaction"<sup>[27]</sup>. The insertion of public and private research-oriented institutions is central, as found in the role of EMBRAPA in the productive system of the studied São Francisco valley.

Vargas<sup>[28]</sup> presents elements that characterize Local Productive and Innovative Systems. No study has found a diversity of economic, political and social activities and actors in the region; an outstanding territorial dimension; an importance associated with tacit knowledge; a real and potential existence of innovation and interactive learning processes; and, as forms of governance inherent in the relationships between different segments of actors.

### 4. CONCLUSION

The study points to the gap on the role played by research institutions in the interaction with the agroindustrial productive segment in wine, particularly in the Local Production System in the wine region of the São Francisco Valley. Embrapa Semiárido's knowledge and technology diffusion processes have the potential for dynamic articulation with innovations in the Local Productive System in the São Francisco Valley wine region.

The structuring of government research activity in the region would favor a process of development and industrial production of wines on site. Through the development of research, innovation in the place of wine production was related to the scientific resource and to the processes of diffusion of knowledge and technologies led by Embrapa.

The Wine Production Zone in the São Francisco Valley is understood as a Local Production System permeated by EMBRAPA's activity. In this system, a set of actors from the research organization acted

with a focus on technological innovation, generation, and diffusion of applied knowledge, aiming at modernization, competitiveness and productive development in the region.

Other studies carried out on the role of public agricultural research organizations on innovation in local agricultural production systems can broaden the understanding of the impact of knowledge and technologies generated on the most modern agro-industrial productive sectors. Future studies can better situate the impact of research on industrial production in the context of agribusiness.

In the specific context of the São Francisco Valley region, the identified interactions allow us to situate the positive role of scientific and technological research and development within the scope of viticulture activity through the results of agricultural research disseminated by the institution.

## ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful for the financial support of the Bahia State Research Foundation (FAPESB) for the research grant awarded (2116/2019).

## REFERENCES

- [1] EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Portal Embrapa. Available in: <<https://www.embrapa.br/>>. Accessed in: 10 jul.2019.
- [2] PROTAS, José Fernando da Silva. Vitivinicultura brasileira : panorama setorial de 2010. Brasília, DF: SEBRAE; Bento Gonçalves: IBRAVIN: Embrapa Uva e Vinho, 2011.
- [3] BERGER, J. ; NAKANE, M. T. ; SAMPAIO, R. R. Embrapa e disseminação da Informação. In: V Workshop de pesquisa tecnologia e inovação (PTI), 2015, Salvador. Anais do V Workshop de Pesquisa Tecnologia e Inovação (PTI). Salvador: Senai Cimatec, 2015. p. 315-322.
- [4] MENDES, Cássia Isabel Costa. Transferência de tecnologia da Embrapa: rumo à inovação. 2015. 386 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas, SP. Available in:<<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/286446>>. Accessed in: 10 jul.2019.
- [5] FIGUEIREDO, Paulo N. New challenges for public research organisations in agricultural innovation in developing economies: Evidence from Embrapa in Brazil's soybean industry. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, v. 62, p. 21-32, 2016.
- [6] CIARLI, Tommaso; RÀFOLS, Ismael. The relation between research priorities and societal demands: The case of rice. *Research Policy*, v. 48, n. 4, p. 949-967, 2019.
- [7] EASTWOOD, Callum; KLERKX, Laurens; NETTLE, Ruth. Dynamics and distribution of public and private research and extension roles for technological innovation and diffusion: Case studies of the implementation and adaptation of precision farming technologies. *Journal of Rural Studies*, v. 49, p. 1-12, 2017.
- [8] HUNT, Warren et al. Recommendations arising from an analysis of changes to the Australian agricultural research, development and extension system. *Food Policy*, v. 44, p. 129-141, 2014.
- [9] LIRBÓRIO, Lúcia Ferreira. Interação instituto de pesquisa - empresas: contribuições da Embrapa Semiárido para o desenvolvimento da fruticultura irrigada no Vale do Submédio São Francisco. Recife, 2012. 186 folhas Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2012.
- [10] SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.
- [11] BARNES, Andrew P. Towards a framework for justifying public agricultural R&D: the example of UK agricultural research policy. *Research Policy*, v. 30, n. 4, p. 663-672, 2001.
- [12] THORNTON, Philip K. et al. Responding to global change: A theory of change approach to making agricultural research for development outcome-based. *Agricultural Systems*, v. 152, p. 145-153, 2017.
- [13] NEHRING, Ryan. Yield of dreams: Marching west and the politics of scientific knowledge in the Brazilian Agricultural Research Corporation (Embrapa). *Geoforum*, v. 77, p. 206-217, 2016.
- [14] EMBRAPA SEMIÁRIDO. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido. Available in: <<https://www.embrapa.br/semiarido>> Accessed in: 10 jul. 2019.
- [15] SUZIGAN, W.; FURTADO, João ; GARCIA, Renato de Castro . Identificação, Mapeamento e Caracterização Estrutural de Arranjos Produtivos Locais no Brasil. Campinas: IPE/DISET, 2006.

- [16] SUZIGAN, Wilson; GARCIA, Renato; FURTADO, João. Clusters ou sistemas locais de produção e inovação: identificação, caracterização e medidas de apoio. São Paulo: IEDI, p. 12-19, 2002.
- [17] SAMPAIO, R. R.; ALBUQUERQUE, J. C. M. Difusão do Conhecimento e Inovação em Sistemas Locais de Produção: Uma modelagem baseada na Dinâmica de Sistemas. In: XXXVII EnANPAD, 2013, Rio de Janeiro. Anais do XXXVII EnANPAD, 2013.
- [18] DE-CARLI, Eduardo et al. Characterization on the patents deposits from Brazil's Public Research Institutes from 2004 to 2013. Revista de Administração e Inovação, v. 14, n. 2, p. 168-177, 2017.
- [19] JUNIOR, Admir Antonio Betarelli et al. Research and development, productive structure and economic effects: Assessing the role of public financing in Brazil. Economic Modelling, v. 90, p. 235-253, 2020.
- [20] MATT, Mireille et al. Opening the black box of impact-Ideal-type impact pathways in a public agricultural research organization. Research Policy, v. 46, n. 1, p. 207-218, 2017.
- [21] FAURE, Guy et al. How different agricultural research models contribute to impacts: Evidence from 13 case studies in developing countries. Agricultural Systems, v. 165, p. 128-136, 2018.
- [22] GAUNAND, Ariane et al. How does public agricultural research impact society? A characterization of various patterns. Research Policy, v. 44, n. 4, p. 849-861, 2015.
- [23] MATERIA, Valentina Cristiana; PASCUCCI, Stefano; KOLYMPIRIS, C. Understanding the selection processes of public research projects in agriculture: The role of scientific merit. Food Policy, v. 56, p. 87-99, 2015.
- [24] BRAUNSCHWEIG, Thomas; JANSSEN, Willem; RIEDER, Peter. Identifying criteria for public agricultural research decisions. Research Policy, v. 30, n. 5, p. 725-734, 2001.
- [25] E SOUZA, Geraldo da Silva; GOMES, Eliane Gonçalves. A Performance Measure to Support Decision-Making in Agricultural Research Centers in Brazil. Procedia Computer Science, v. 55, p. 405-414, 2015.
- [26] CRESWELL, John W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3 ed. Porto Alegre: ARTMED, 2010.
- [27] SAMPAIO, R. R.; ALBUQUERQUE, J. C. M. ; LACERDA, R. V.. Abordagem de Sistemas de Inovação na Perspectiva da Criação e Difusão do Conhecimento nas Organizações. International Journal of Knowledge Engineering and Management, v. 5, p. 49-67, 2016.
- [28] VARGAS, M. A. Aspectos conceituais e metodológicos na análise de arranjos e sistemas produtivos e inovativos locais. Programa de Pesquisa Micro e Pequenas Empresas em Arranjos Produtivos Locais no Brasil. Rio de Janeiro: IE/UFRJ. 2004.\

# *Capítulo 11*

*A utilização de geotecnologias para a análise geográfica do espaço urbano no bairro Campestre do Menino Deus, Santa Maria - RS*

*Janderlei Velasque Dal Osto*

*Andressa Kossmann Ferla*

*Lucas Mauricio Willecker dos Santos*

**Resumo:** Com o avanço das Geotecnologias atuais a crescente análise nos estudos da Geografia Humana e Física tem se intensificado e melhorado a análise espacial de temas que nos permitem compreender a dinâmica espacial de um determinado território. Nessa perspectiva, a pesquisa conta em uma análise geográfica do bairro Campestre do Menino Deus, situado na área urbana do município de Santa Maria no Rio Grande do Sul, utilizando das Geotecnologias para a compreensão deste espaço. Dessa forma, o bairro abriga uma das principais barragens de abastecimento de água na região, possui morros e áreas de ocupação irregular, sendo pouco industrializado e com muitas desigualdades, os moradores possuem problemas de moradia e ocuparam os espaços próximo a estrada férrea que deu origem ao bairro. É possível perceber que há falta de diálogo com alguns órgãos da cidade para a melhoria das condições de vida dos habitantes, entretanto, o bairro da zona urbana de Santa Maria abriga várias áreas verdes e possui um potencial econômico pouco explorado.

**Palavras-chave:** Geotecnologias; Campestre do Menino Deus; análise geográfica.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a Geografia tem incorporado novas técnicas e metodologias para a melhoria da análise espacial. Com o auxílio das geotecnologias surgem novas possibilidades compreender o espaço, seja em uma análise urbana ou rural, física ou humana. Para a análise do espaço urbano de um determinado território, a cartografia e os novos dispositivos de análise têm um caráter importante para a compreensão de elementos como população, economia, uso e ocupação do solo, hidrografia, entre outros.

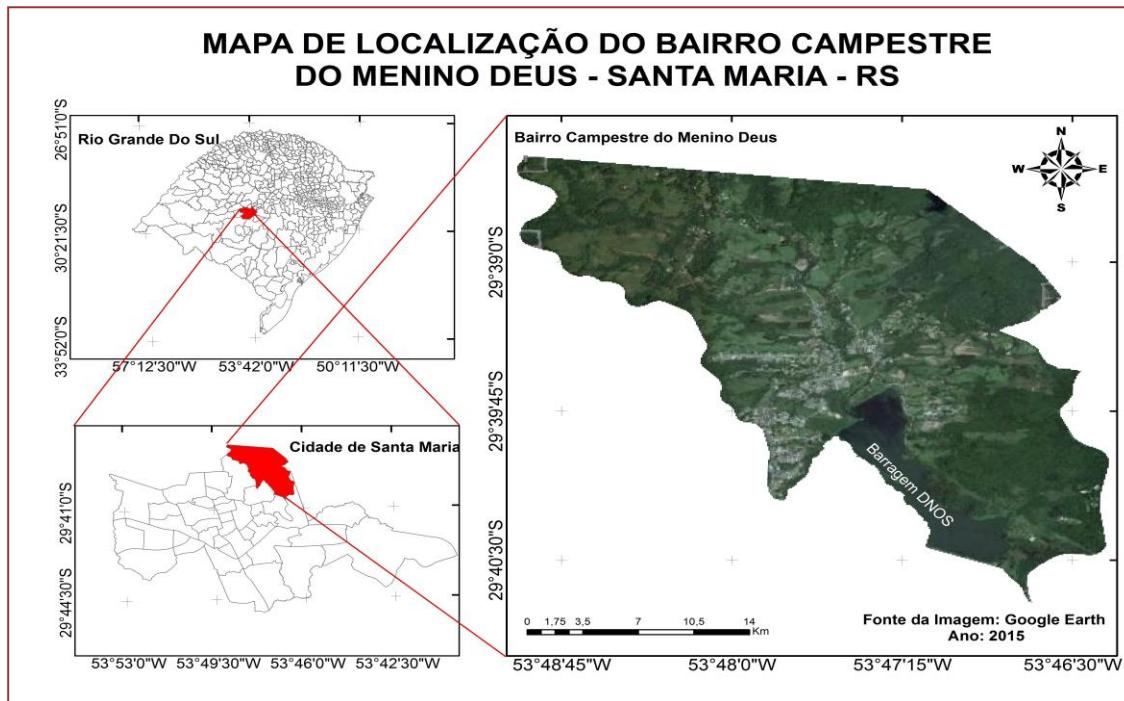
Girardi (2008) aponta que os inúmeros avanços da cartografia fizeram com que aumentasse a importância e fez com que a cartografia adquirisse o espaço de disciplina independente. O que fez com que a análise cartográfica ganhasse uma importância ainda maior para análise espacial de diferentes territórios e escalas de análise.

Segundo Nunes (2016) existe uma grande importância de se discutir sobre a Cartografia em trabalhos de diferentes áreas, a exemplo, em estudos urbanos, pois sem a qual não haveriam análises. A cartografia vem evoluindo nas diversas formas de reproduzir o espaço ou fenômeno, as análises tem adquirido uma compreensão e conhecimento mais amplo quando são agregadas outras variáveis para explicar a ocorrência de um determinado fato positivo ou negativo para o desenvolvimento de uma região.

Com base nisso, e com auxílio de algumas geotecnologias, esse trabalho busca uma compreensão dos aspectos gerais geográficos do bairro Campestre do Menino Deus, da cidade de Santa Maria no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Além disso, fazer uma análise a partir do espaço do bairro no contexto da Geografia Urbana, apontando os principais problemas encontrados durante a pesquisa.

O bairro está situado ao norte do município de Santa Maria (Região Central do Rio Grande do Sul). Limita-se com os bairros: Itararé, Km 3, Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, Presidente João Goulart, Santo Antônio, e, com o município de Itaara. A Figura 1 apresenta o mapa de localização para área de estudo.

**Figura 1:** Mapa de Localização do Bairro Campestre do Menino Deus



Elaboração: Dal Osto, J.

## 2. METODOLOGIA

As etapas metodológicas desta pesquisa contam com a revisão bibliográfica que acompanhou durante todo o estudo, levando em conta autores relacionados as temáticas de Geografia Urbana, Utilização de novas Geotecnologias e História da Cidade e do Bairro Campestre do Menino Deus.

A segunda etapa metodológica passou pela coleta de dados, sendo buscada através dos documentos fornecidos pela prefeitura municipal de Santa Maria-RS, Instituto de Planejamento de Santa Maria (IPLAN) e pelo banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Por fim, a pesquisa passou para a análise espacial que conta com a inserção dos dados em um sistema de informações geográficas (SIG), através do software ArcGis que nos permitiu a elaboração de mapas temáticos de temas que auxiliam na compreensão do espaço urbano do bairro.

### **3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

O Bairro Campestre do Menino Deus somente vem a surgir oficialmente como bairro em 2006, sendo que sua área mais povoada (ao sul) fora subtraída do bairro vizinho Itararé, e a outra área com predominância de morros fazia parte de uma área do distrito da Sede.

A origem do Bairro Campestre do Menino Deus está associada à origem do Bairro Itararé que está ligada a construção do primeiro eixo ferroviário longitudinal que interligava os estados do Rio Grande do Sul e São Paulo através da cidade de Santa Maria.

Assim como o Bairro Itararé sua história econômica diferencia-se dos demais bairros do município de Santa Maria por concentrar uma parcela significativa da população como sendo funcionários da rede Ferroviária do Município que possuía alto poder aquisitivo, dados os elevados níveis de renda oriundos da empresa ferroviária local e do comércio que se desenvolveu nas proximidades da Estação Férrrea, realidade esta que foi alterada com o fechamento do trem de passageiros em fevereiro de 1995 na rede ferroviária.

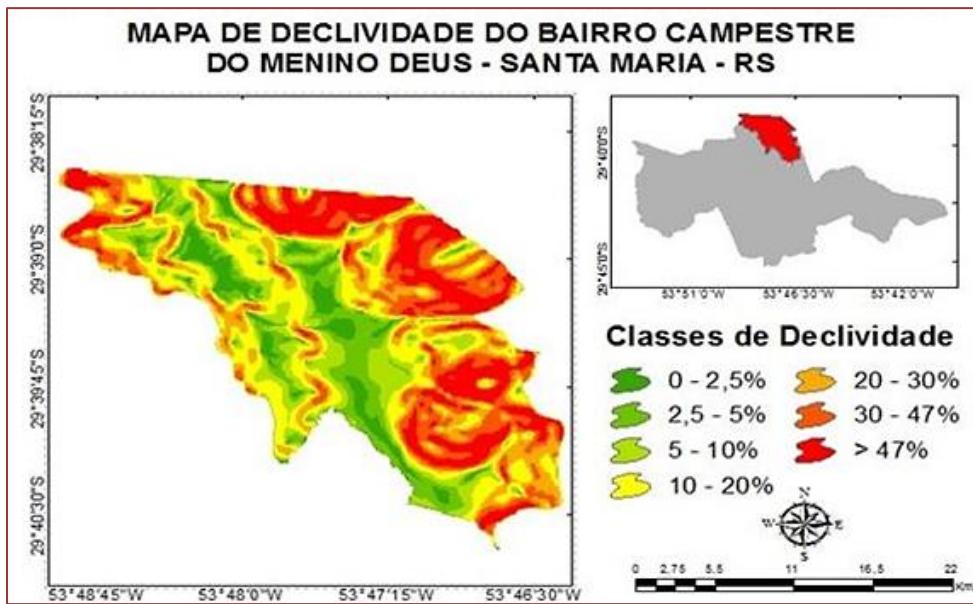
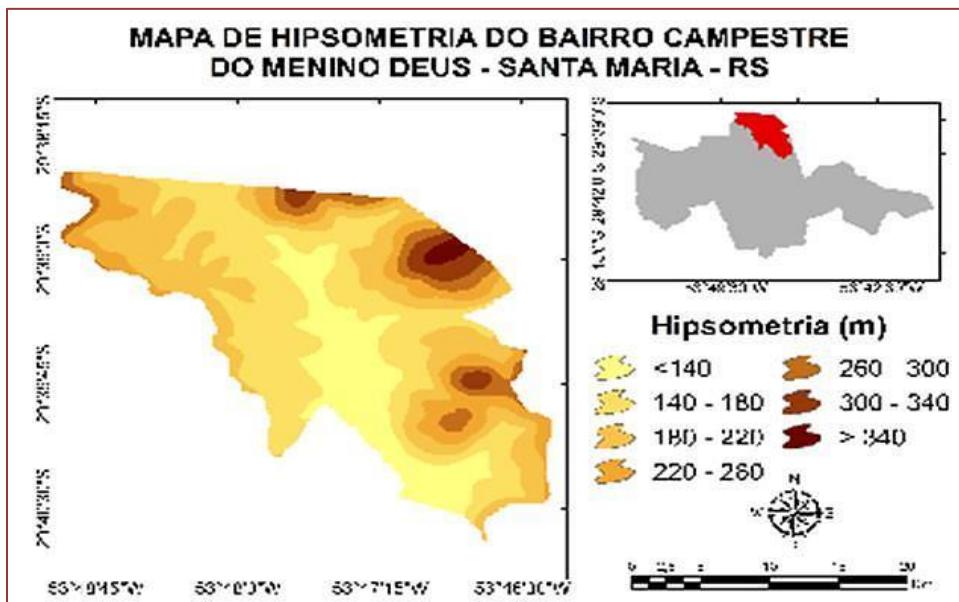
Em 2006, o Itararé teve do seu território criado um novo bairro, o Campestre do Menino Deus. Em 2005 quando a prefeitura e a Câmara Municipal de Santa Maria estavam configurando a divisão de bairros do distrito da Sede, a prefeitura chegou a sugerir que fosse criado o bairro Morro Cechella (Ou então Bela Vista Como foi sugerido pela população), contudo toda essa região passou a ser chamada - ou continuou sendo Itararé e somente em 2006 o local vem a surgir oficialmente como bairro Campestre Menino Deus.

O bairro está situado ao norte da cidade de Santa Maria/RS. Limita-se com os bairros: Itararé, Km 3, Nossa Senhora do Perpétuo Socorro, Presidente João Goulart, Santo Antônio, e, com o município de Itaara.

#### **3.1 GEOLOGIA E SOLOS**

Segundo Maciel Filho (1990) Santa Maria situa-se junto ao rebordo do Planalto Meridional Brasileiro, denominado como Serra Geral. O relevo da região apresenta três feições bem distintas. A primeira é das planícies aluviais, modeladas em sedimentos quaternários, com uma topografia plana e sujeita a inundações (Cadena, Vacacaí-Mirim e Ferreira), as altitudes de várzea ficam em torno de 40 a 60 m. A segunda corresponde à área das coxilhas, modeladas em rochas sedimentares triássicas, constituída por colinas alongadas, com uma topografia suavemente ondulada. As principais coxilhas são de Pau Fincado, Bonita, Santa Catarina e Pinheiros.

A transição da Depressão para o Planalto se dá através da unidade geomorfológica Serra Geral - Área Serrana (PINHEIRO et al., 2002). Nessa unidade são comuns os declives superiores a 15%. Considera-se parte desta unidade os morros testemunhos isolados na Depressão. As altitudes das encostas variam de 120 a 470m. O substrato rochoso é composto pelas Formações Caturrita, Botucatu e Serra Geral. Esta unidade caracteriza a terceira feição do relevo da região, o qual é modelado em rochas vulcânicas, com elevações de topo aplaniado e com patamares, nas encostas. Na área Serrana, a escarpa é festonada e constitui um prolongamento da Serra Geral, conhecida com denominações locais de serras de São Martinho e do Pinhal. As Figuras 2 e 3 apresentam os mapas de declividade e hipsometria para a área de estudo.

**Figura 2:** Mapa de Declividade do Bairro Campestre do Menino Deus**Figura 3:** Mapa de Hipsometria do Bairro Campestre do Menino Deus

Elaboração: Dal Osto, J. 2010.

### 3.2 CLIMA

De acordo com Moreno (1961) apud Isaías (1992), o clima específico do município de Santa Maria, de acordo com o sistema de classificação de Köppen, é o sub-tropical "Cfa", com temperatura média anual de 19,3°C; a média das temperaturas máximas do mês mais quente (janeiro) é de 31,5°C e do mês mais frio (julho) atinge os 9,3°C; a temperatura mínima absoluta é geralmente de 0°C, e a máxima absoluta é de 35°C. A precipitação média anual é superior a 1.500mm, com uma frequência de 113 dias. Entretanto, esta região pode sofrer um déficit anual superior a 200 mm de precipitação. A umidade relativa do ar média anual é de 82%; os ventos predominantes são de leste e sudoeste, com frequência expressiva também para os ventos que sopram do quadrante norte. A região é periodicamente invadida por massas polares e frentes frias (Frente Polar Atlântica), responsáveis pelas baixas temperaturas (Inverno) e pela regularidade na distribuição das precipitações.

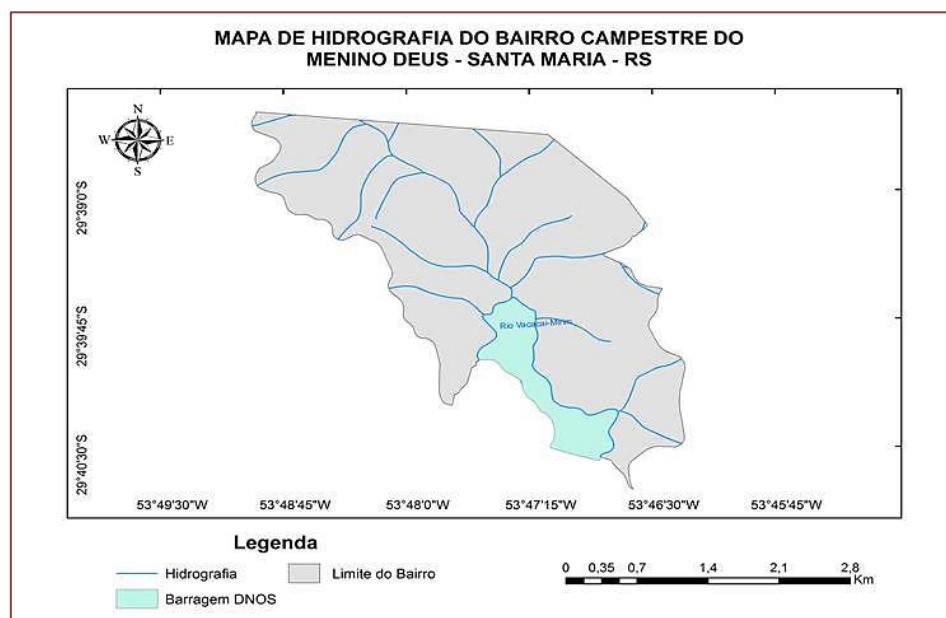
### 3.3 VEGETAÇÃO

A vegetação apresenta áreas correspondentes à formação florestal Bioma Mata Atlântica. Consta no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental do município, instituído pela Lei Complementar nº 034 de vinte e nove de dezembro de 2004, a Política Municipal de Manejo Sustentável da Área de Influência da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. Essa política visa incorporar ao planejamento municipal o manejo sustentável da área da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, com abrangência municipal e regional. Nesse sentido, cabe ressaltar também o município de Santa Maria como portal sul da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, já que o setor norte do município, onde se encontra o Bairro Campestre do Menino Deus é inserido na mesma.

### 3.4 HIDROGRAFIA

Dentre os rios que cortam o município destacam-se o Rio Vacacaí-Mirim que abastece a barragem do DNOS (Departamento Nacional de Obras e Saneamento), nesta área da barragem, as atividades de cunho recreativo tiveram grande destaque no início do século passado, durante os anos de existência do Parque da Montanha Russa, extinto em 1932. A barragem está localizada no bairro Campestre do Menino Deus (ao norte da cidade de Santa Maria) e a sudoeste do município de Itaara. A faixa de 100 metros em seu entorno é de propriedade municipal e está destinada, por lei, a ser um parque municipal desde 1992. Ademais, há ocupações irregulares por habitações de baixa renda, clubes e sítios de lazer, assim como poluição por efluentes e lixo, assoreamento do lago e desmatamento da Área de Preservação Permanente. A Figura 4 apresenta de forma mais detalhada a hidrografia do bairro.

**Figura 4:** Mapa de Hidrografia do Bairro Campestre do Menino Deus



Fonte: Malha Cartográfica do IBGE.  
Elaboração Dal Osto, J. 2010.

### 3.5 A POPULAÇÃO DO BAIRRO CAMPESTRE DO MENINO DEUS

Tendo sua origem através do bairro Itararé o Bairro Campestre do Menino Deus tem sua formação populacional oriunda do mesmo onde a origem da população está correlacionada a instalação da viação férrea no bairro, que interligava os Estados do Rio Grande do Sul e São Paulo.

A partir da finalização da via férrea e consequentemente da estação de Santa Maria, o Itararé passou a ser o primeiro bairro no município a abrigar moradores de ordem judaica, dado o alto poder aquisitivo da população que ali passava, esses, juntamente com italianos que residiam em pequenos municípios no entorno de Santa Maria passam a instalar pequenos comércios nas proximidades. Contudo, o espírito empreendedor do bairro Itararé não se constitui em especialidade italiana e judaica, mas também alemã, pois coube aos alemães instalarem no bairro as primeiras fábricas locais de bebidas, calçados, bolachas e de café.

### **3.6 EQUIPAMENTOS E INFRAESTRUTURA**

Na questão referente à infraestrutura, o bairro apresenta-se apenas como residencial, onde existe apenas uma escola de ensino fundamental, e uma Associação Tradicionalista a AT Poncho Branco que se situa na Rua Vereador Antônio Dias, que conta com invernadas artísticas. Também existe a Associação Santa-mariense de Esportes Náuticos, com sede na Rua Vereador Antônio Dias, nº 2202/3, bairro Campestre do Menino Deus, que oferece opções de lazer e aulas de canoagem a se realizarem na Barragem do DNOS, também localizada no Bairro Campestre do Menino Deus.

#### **3.6.1 SAÚDE**

O bairro não possui Unidade Básica de Referência (UBR) sendo o local de atendimento mais próximo Posto de Saúde Itararé localizado na Rua Assis Brasil, 400. O Bairro Itararé conta ainda com Hospital Municipal Casa de Saúde na Rua Ary Lagranha Domingues, 188.

#### **3.6.2 EDUCAÇÃO**

Referente à educação, o bairro conta com apenas uma escola, a Escola Municipal de Ensino Fundamental Professora Hylda Vasconcellos, localizada na Rua Vereador Antônio Dias, que possui ensino fundamental até o 9º ano (prefeitura Municipal de Santa Maria).

#### **3.6.3 SANEAMENTO BÁSICO E ENERGIA**

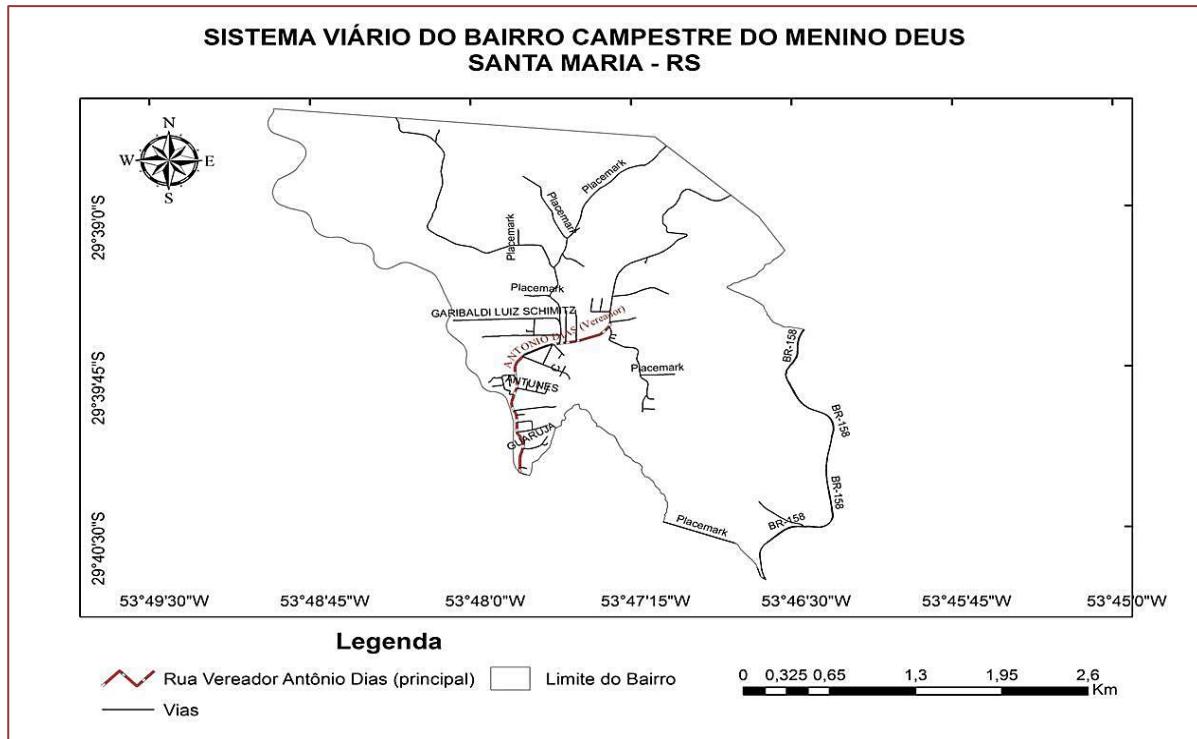
O Bairro possui abastecimento de água potável pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), e também recebe a coleta semanal de lixo, porém a maioria das residências não tem coleta e o tratamento do esgoto.

No que diz respeito à energia, o Bairro por inteiro é abastecido com energia pela AES Sul, porém existem relatos de moradores reclamando de frequentes quedas de luz, devido a manutenção de equipamentos na Subestação Santa Maria 1, subestação Santa Maria 1 da CEE que está localizada no Bairro Campestre do Menino Deus.

#### **3.6.4 SISTEMA VIÁRIO E TRANSPORTES**

O Bairro Campestre do Menino Deus apresenta seu sistema viário centralizado próximo a grande urbanização do bairro, devido ao seu entorno ser rodeado por morros e áreas de preservação Permanente. Na figura 5 temos o mapa do sistema viário do Bairro, dando ênfase a Rua Vereador Antônio Dias que se apresenta como a principal via do bairro desde a sua formação, pois é a rua de acesso até a estrada do Perau, que liga a cidade de Santa Maria até Itaara.

**Figura 5:** Sistema Viário do Bairro Campestre do Menino Deus



Fonte: Malha Cartográfica do IBGE.

Elaboração Dal Osto, J. 2010.

No que diz respeito ao transporte urbano, o bairro é abastecido pela empresa Santa Catarina Transportes, que faz a linha do Bairro, até o centro da cidade.

### **3.7 ASPECTOS DEMOGRÁFICOS**

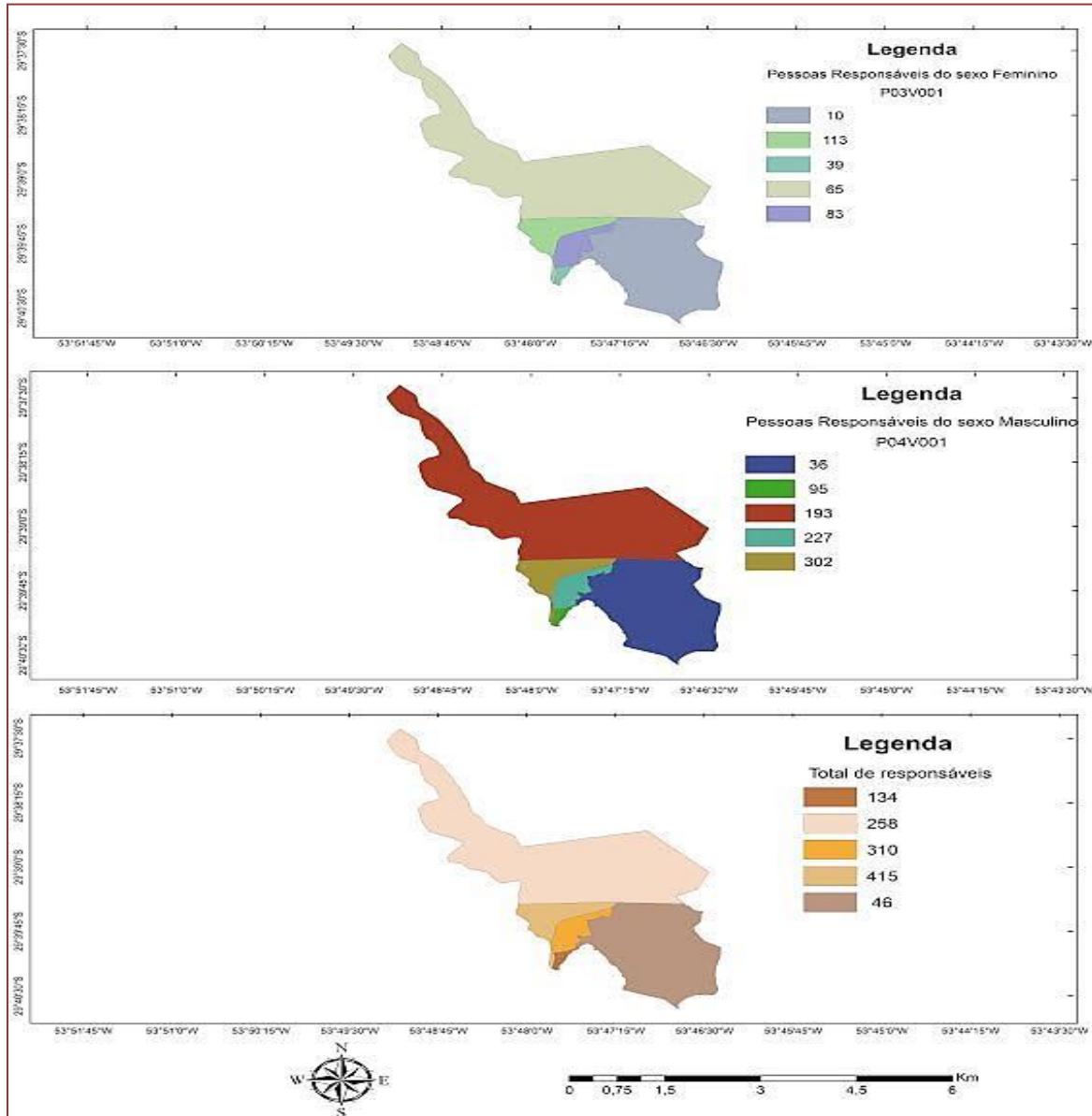
Segundo os dados do censo de 2010 do IBGE a população atual do Distrito Sede é de 246.465 pessoas, distribuídas ao longo de 8 Regiões Administrativas e 41 bairros. A referida distribuição foi determinada em 2006 (Escritório da Cidade/PMSM, Maio 2012). A Tabela 1 apresenta os dados do crescimento da população para a Região Nordeste do município.

**Tabela 1:** Crescimento da população da Região Administrativa Nordeste de Santa Maria /RS

	População 1996	População 2000	População 2010
Região Administrativa Nordeste	26.300	26.925	28.819

Fonte: IBGE Contagem da População 1996, Censos Demográficos 2000 e 2010.  
Org.: DAL OSTO, J.

Também foram analisados os aspectos demográficos através dos dados censitários obtidos no Censo Demográfico do IBGE de 2010 com o uso das variáveis de Responsáveis do sexo Feminino e Masculino e com a soma das duas um total de responsáveis no Bairro. Entendemos por Responsável do Domicílio Pessoa a pessoa (homem ou mulher), de 10 anos ou mais de idade, reconhecida pelos moradores como responsável pela unidade domiciliar. Desta forma, conforme a Figura 6 ocorre uma predominância de homens como responsáveis pelos domicílios no Bairro principalmente na área mais urbanizada em que encontramos o maior número de moradores e domicílios.

**Figura 6:** Mapa da relação Responsáveis do sexo Feminino e Masculino

Elaboração: Dal Osto, J.

Fonte: Censo do IBGE 2010

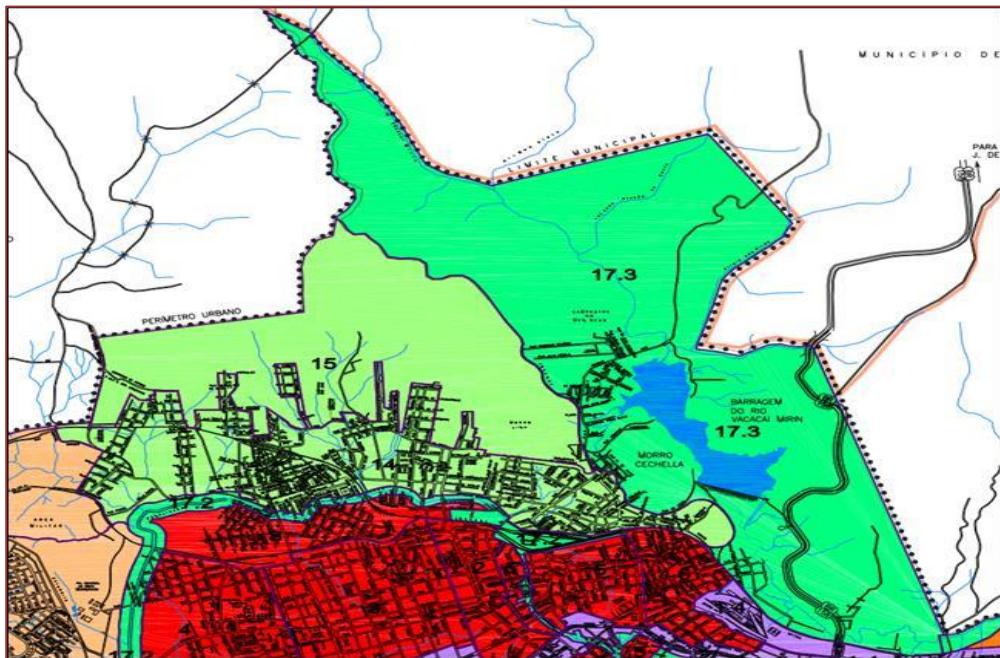
### 3.8 ANÁLISE DO ESPAÇO URBANO

O Plano Diretor Municipal em seu Anexo 10 apresenta o Mapa de Zoneamento Urbanístico de Santa Maria onde consta a delimitação das Macrozonas. O Bairro Campestre do Menino Deus é classificado nestas macrozonas como sendo Área de Natural de Preservação com o código 17.3 No anexo 7 do PDMS encontramos o Quadro de Regime Urbanístico que determina o coeficiente do uso segundo aproveitamento. Ainda cabe ressaltar que nas tabelas as unidades com o símbolo \* significam que:

\* = A Unidade necessita de um Estudo do Escritório da Cidade.

\*\* = A unidade necessita de um Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV).

**Figura 7:** Área do bairro Campestre do Menino Deus no mapa de macrozonas urbanísticas do plano diretor



Fonte: Plano Diretor de Santa Maria – RS.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise dos aspectos do Bairro Campestre, existem algumas considerações a fazer. O uso do solo é praticamente para fins residenciais com unidades uni e multifamiliar, como consta no Plano Diretor de Santa Maria. Contudo cabe ressaltar a presença de inúmeros domicílios no entorno da Barragem DNOS, local não apropriado para a expansão urbana e para o desenvolvimento de atividades humanas de natureza agrícola por se tratar de uma área que, em função de suas características físicas, pode vir a causar desequilíbrio no dinamismo da natureza e na sua evolução. No momento em que esse equilíbrio é alterado, o ambiente torna-se vulnerável ao desencadeamento de processos superficiais e subsuperficiais que podem causar riscos à população diretamente envolvida, bem como, em toda cidade.

Quanto ao Sistema Viário a largura das ruas são adequadas, mas existem inúmeras ruas não asfaltadas. Ao se tratar de sistemas de transporte coletivo, o Bairro Campestre do Menino Deus é um pouco precário, contando com poucas linhas. A respeito dos aspectos socioeconômicos, o Bairro encontra-se com desigualdades sociais grandes ao comparar todos os seus setores censitários. Além do contraste encontrado na renda da população, há um contraste em função da habitação, pois o bairro abriga pessoas de alta renda e de baixa renda ao mesmo tempo.

Para isso, alguns prognósticos podem ser avaliados, como a pavimentação das ruas e a busca em proporcionar habitação mais adequada a população que ocupam de forma desordenada e perigosa, principalmente em proximidade com a Barragem DNOS. Além disso, proporcionar a população serviços de saneamento básico que se encontra ausente em muitas ruas e domicílios.

Com os dados expostos neste trabalho, busca-se auxiliar a gestão municipal de Santa Maria-RS, mostrando os aspectos principais presentes no Bairro e também alguns que estão em déficit para desta forma o Bairro receber um planejamento e manutenção adequada. Ainda buscou-se mostrar alguns contrastes de populações para que futuramente essas desigualdades sejam amenizadas.

## REFERÊNCIAS

- [1] BOLFE, S. Expansão urbana de Santa Maria, RS: uma avaliação da adequabilidade do uso do solo. Dissertação de Mestrado, USP/FFLCH, São Paulo, 1997.
- [2] GIRARDI, P. E. Proposição teórico-metodológica de uma cartografia geográfica crítica e sua aplicação no desenvolvimento do atlas da questão agrária brasileira. Presidente Prudente – SP. Tese de Doutorado, 2008.
- [3] HADDAD, R. P. Capitais intangíveis e desenvolvimento regional. Revista de Economia, v. 35, n. 3 (ano 33), p. 119-146, set./dez. 2009. Editora UFPVR.
- [4] MACIEL FILHO, C. L. Caracterização geológica das formações sedimentares de Santa Maria, RS. 1977. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 1977.
- [5] NASCIMENTO,M.D.; MOURA,N,S,V. Análise Espacial da Expansão Urbana de Santa Maria-Rs e Tendências Atuais. Boletim Gaucho de Geografia v. 41, n. 1 .2014.
- [6] PINHEIRO, R.J.B.; SOARES J.M.D. Notas de Aula: Mecânica dos Solos. Santa Maria: UFSM, 2002. 253p
- [7] PINHEIRO, A. do C.. Levantamento e análise do processo de ocupação irregular do solo urbano nos últimos 30 anos (1970-2000) em Santa Maria-RS. Trabalho de Graduação. Santa Maria: UFSM/Curso de Geografia, março de 2002.
- [8] PREFEITURA MUNICIPAL DE SANTA MARIA. Lei complementar municipal N. 042 de 29 de dezembro de 2006: cria unidades urbanas, altera a divisão urbana de Santa Maria, dá nova denominação aos bairros e revoga a Lei Municipal nº 2770/86, de 02-07-86, Artigos 2º a 25 e dá outras providências.
- [9] PMSM - SANTA MARIA. Prefeitura Municipal de Santa Maria. Plano Diretor de Santa Maria, 2004. 2 Volumes.
- [10] \_\_\_\_\_. Prefeitura Municipal de Santa Maria. Plano Saneamento Ambiental Municipal, 2012. 5 Volumes.
- [11] ROBAINA, L. E. S.; OLIVEIRA, E. L. A.; PIRES, C. A. F. Estudo para instalação de aterro sanitário no município de Santa Maria – RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10º CGBE, Ouro Preto, Minas Gerais, 2002, 13 p.
- [12] ROCHA,L.H.M. Padrão Locacional Da Estrutura Social : Segregação Residencial em Santa Maria - RS .UFSC. Florianópolis, SC, 2011.
- [13] SARTORI, M. da G.B.. O clima de Santa Maria: do regional ao urbano. 1979. 165f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.
- [14] Wandscheer, Elvis Albert Robe.et al. Relações e transformações Socioeconômicas do Bairro Itararé em Santa Maria/RS através da evolução da rede férrea.

# *Capítulo 12*

## *Análise multiespacial do uso e cobertura da terra da Zona de Amortecimento do Parque Natural Municipal dos Morros em Santa Maria, RS*

*Lucas Mauricio Willecker dos Santos*

*Janderlei Velasque Dal Osto*

*Márlon Roxo Madeira*

*Andressa Kossmann Ferla*

**Resumo:** O Parque Natural Municipal dos Morros trata-se de uma Unidade de Conservação localizada ao norte do município de Santa Maria, em uma zona de transição geomorfológica e fitoecológica, com vegetação típica do Bioma Mata Atlântica e, características do Bioma Pampa sendo uma das áreas prioritárias para a conservação no Rio Grande do Sul. Portanto, esse trabalho tem como objetivo principal caracterizar os usos da ZA no Parque Natural Municipal dos Morros, com a finalidade de auxiliar na conservação dessa área. Utilizando a pesquisa bibliográfica e documental das áreas relacionadas à temática da proposta de trabalho; imagens de satélite da área de estudo; utilização do Software ArcGis® 10.1; realização de trabalhos de campo na Zona e no Parque; reuniões com secretário adjunto de Meio Ambiente de Santa Maria. Foi possível observar que a área urbanizada da ZA do Parque dos Morros teve um crescimento no período que vai de 1996 a 2006, e entre os anos de 2006 a 2016 se manteve estável com poucas alterações. Quanto ao uso e ocupação, há uma extensa faixa de área urbanizada ao sul e áreas de solo exposto situadas ao norte da Zona de Amortecimento, além de uso agrícola ou ocorrência de espécies invasoras que podem gerar problemas na preservação do Parque dos Morros.

**Palavras-Chave:** Parque dos Morros. Zona de Amortecimento. Unidades de Conservação.

## 1. INTRODUÇÃO

As Zonas de Amortecimento (ZAs), também conhecidas como “áreas tampão” são áreas estabelecidas ao redor das Unidades de Conservação (UCs), e têm por objetivo filtrar os impactos negativos que ocorrem no entorno dessas unidades, como por exemplo: ruídos, poluição, espécies invasoras e avanço da ocupação humana, especialmente nas unidades próximas a áreas intensamente ocupadas. As ZAs foram criadas pelo artigo 2º, inciso XVIII da Lei do SNUC (Lei nº 9.985/2000), que define que no entorno das UCs as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, a fim de minimizar os impactos negativos sobre a unidade.

Portanto, a ZA se configura como um espaço territorial que, devido a sua proximidade em relação às áreas protegidas, é afetado pelo regime especial de conservação da natureza que rege esta região, passando a possuir também, um regime diferenciado de usos, que estabelece controle e restrições a determinadas atividades. Segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONSEMA), conforme a competência estabelecida no artigo 52 da Lei Estadual 11.520/2000, do Código Estadual do Meio Ambiente, que estabelece normas específicas para utilização, recuperação e conservação ambiental do entorno das UCs. Ainda segundo o CONSEMA são estabelecidos critérios e procedimentos para a Autorização para Licenciamento Ambiental de atividades ou empreendimentos que afetem as UCs Estaduais e Municipais integrantes do Sistema Estadual de Unidades de Conservação e seu entorno (ZA e área circundante de 10 km).

Nesse contexto, referente às UCs do RS, no município de Santa Maria se destaca o Parque Natural Municipal dos Morros, que é uma UC localizada na zona de transição geomorfológica e fitoecológica, com relevo característico do Planalto, com vegetação típica do Bioma Mata Atlântica e, relevo da depressão central com características do Bioma Pampa. Essa região de transição proporciona interpenetração da fauna e flora desses Biomas, resultando em uma rica biodiversidade local. Além disso, o Parque dos Morros está inserido na Zona Núcleo da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA), se configurando como uma das áreas prioritárias para a conservação desse bioma no estado do RS (SANTA MARIA, 2013).

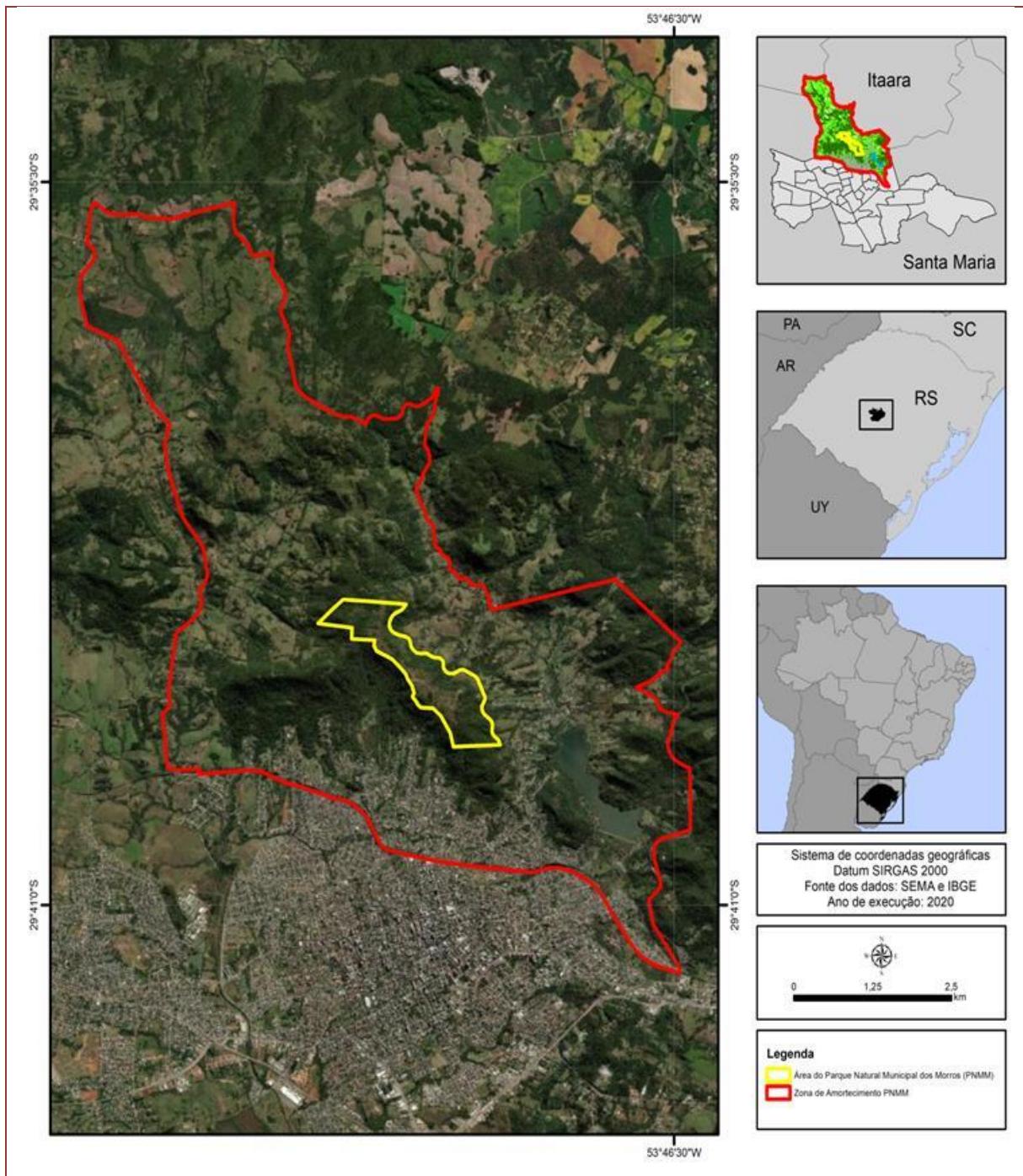
Segundo Santa Maria (2013) a ZA do Parque Natural Municipal dos Morros, foi definida preliminarmente como a área da bacia hidrográfica de drenagem formada pelos cursos d’água de influencia diretamente. Posteriormente, levando em consideração a gestão dessa unidade territorial, foram consideradas as macrozonas determinadas pela Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS) de Santa Maria incorporando as áreas adjacentes que ainda possuem fragmentos consideráveis de vegetação nativa (Floresta Estacional Decidual).

O Parque Natural Municipal dos Morros, localizado na região norte de Santa Maria, teve seu último decreto executivo gerado no dia 6 de setembro de 2016 segundo o Decreto nº 74/2016. Antes de se tornar uma UC, o Parque Natural Municipal dos Morros era de propriedade privada, em que se fazia o uso a agrícola através de milho e cana-de-açúcar, e na pecuária com bubalinos e bovinos.

O Plano de Manejo do Parque data de 2013 e definiu o imóvel como área protegida e nominou a área como Parque Natural Municipal dos Morros que recebe esse nome por possuir várias nominações de morros (Morro dos Links, Morro do Campestre, Morro da Casinha Branca e Morro do Carmo). O Parque dos Morros encontra-se situado na faixa do rebordo do planalto impactada pelo mau uso e ocupação do solo, restando pequenas ilhas e faixas ainda bem conservadas e está na área de transição dos biomas pampa e mata atlântica, possuindo uma grande diversidade de fauna e flora. A área do Parque está na área de RBMA reconhecida internacionalmente como patrimônio cultural e ambiental.

Portanto, a ZA do Parque (figura 1) está localizada, parte na zona rural do município de Santa Maria (Distrito de Santo Antão), e parte na zona urbana nos bairros Campestre do Menino Deus, Perpétuo Socorro, Chácara das Flores e parte dos Bairros Itararé, Chácara das Flores e Caturrita, sendo o principal acesso realizado pela Rua Garibaldi Schmidt, que fica no bairro Campestre do Menino Deus. (SANTA MARIA, 2013).

**Figura 01** – Localização da área do Parque Natural Municipal dos Morros e Zona de Amortecimento



Fonte e elaboração: os autores (2021).

Com o propósito de intensificar e contribuir no monitoramento e a conservação do Parque Natural Municipal dos Morros, este trabalho tem como objetivo identificar e caracterizar os tipos de uso na ZA do Parque Natural Municipal dos Morros, por meio da análise multiespacial do uso e cobertura da terra desse território. Para a realização foram elencados métodos e autores de diferentes áreas do conhecimento descritos a seguir.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos metodológicos adotados para realização do trabalho foram divididos em três etapas: i) foram realizados levantamentos bibliográficos acerca do tema que envolveu a pesquisa para a análise da situação ambiental e informações gerais da área de estudo reuniões com o secretário adjunto de meio ambiente da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Santa Maria, Geógrafo Guilherme Lulda Rocha, que possibilitou a aquisição de materiais existentes sobre a região de abrangência e da UC em estudo e o acesso ao Parque; ii) levantamentos e coleta de imagens a campo; iii) aquisição dos materiais cartográficos, softwares e informações e geração do mapa de uso e cobertura da terra.

A pesquisa bibliográfica e documental antecedeu a realização do trabalho e o acompanhou durante toda a pesquisa, com autores (as) e documentos relacionados a temática da pesquisa. Os trabalhos de campo, utilização de imagens de satélite, reuniões junto ao secretário do meio ambiente da prefeitura e as visitas ao Parque dos Morros serviram para a compreensão e investigação dos usos da ZA e para a produção de mapas temáticos e fotografias que evidenciam os usos.

As imagens de satélite foram obtidas através do site Land Viwer 1.0 (imagens do satélite Sentinel II) e do Software Google Earth Pro. As cenas georreferenciadas no Sistema de Coordenadas Geográficas – WGS 84. O software computacional utilizado para visualização, análise e digitalização das classes de uso do solo foi o ArcGIS®, versão 10.1 da empresa Esri, para a geração do mapa de uso e cobertura da foram levantadas as informações temáticas como a identificação, localização e representação espacial da UC, com o auxílio do Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013). A interpretação das classes e a digitalização das classes e a análise da imagem foi realizada através de interpretação visual que interpreta a imagem diretamente na tela do computador, utilizando elementos básicos de interpretação, como cor, textura, forma, tonalidade, tamanho, sombra, padrão, adjacências e localização geográfica (LOCH, 1993; TEMBA, 2000; GOMES, 2001; FLORENZANO, 2002; MOREIRA, 2003 citados por SANTOS, A. e SANTOS, F. 2010). As classes definidas foram: áreas de florestas preservadas, áreas de campos, área urbanizada, áreas de solo exposto e corpos hídricos. As imagens foram obtidas através da realização de trabalhos de campo dentro da Zona do Parque; com câmera fotográfica da marca Nikon, modelo D3200.

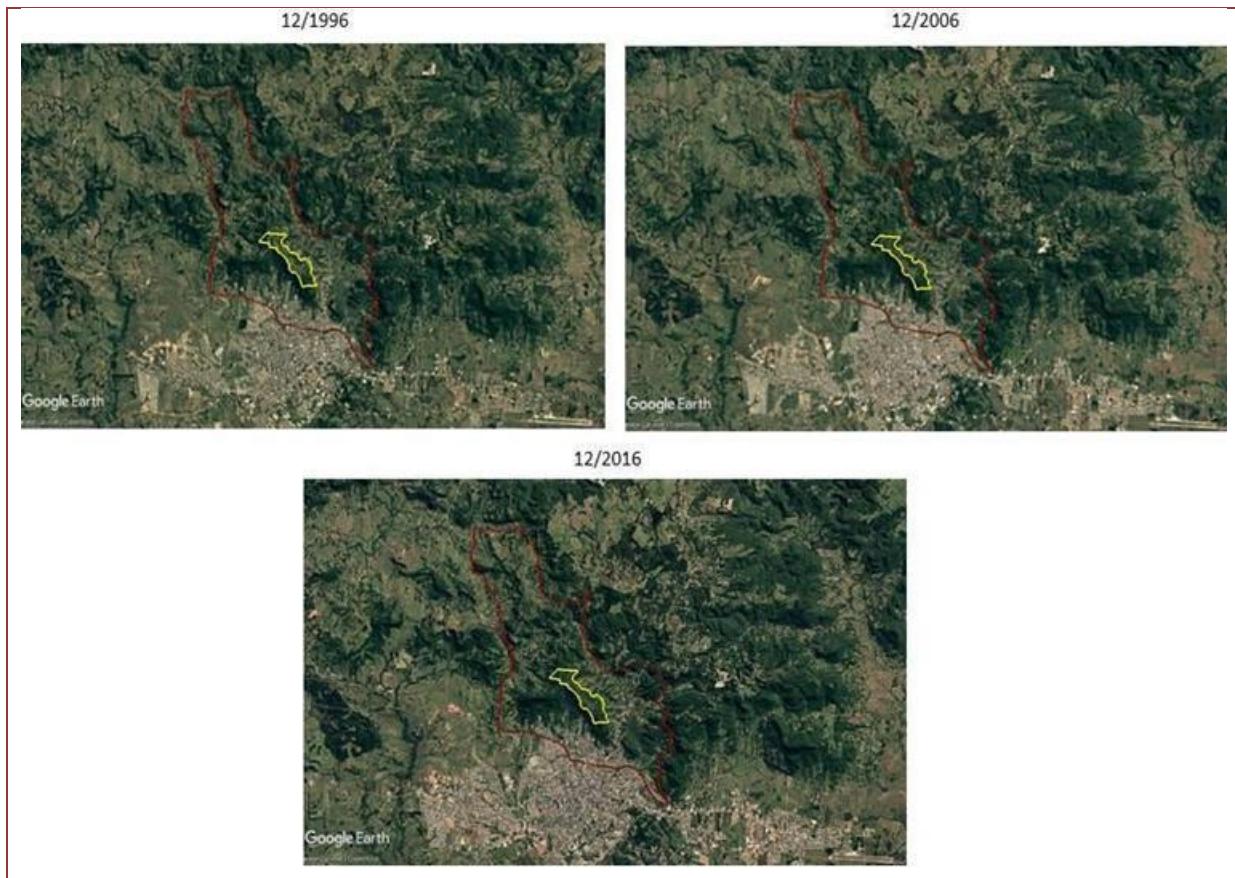
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ocupação urbana tem se intensificado nos últimos vinte anos na área de entorno do Parque dos Morros, o adensamento populacional teve um aumento significativo se compararmos as imagens de satélite principalmente de dezembro de 1996 até 2006 (figura 2), em que é possível perceber que a “mancha urbana” se expande na porção sul da ZA do Parque. No período que vai de dezembro de 2006 à dezembro de 2016 o aumento da população urbana não sofre grandes alterações na região em que a Zona de Amortecimento está inserida e a expansão urbana se dá na direção sul da área do Parque dos Morros (em direção ao centro da cidade), pelas imagens é possível perceber que houve uma alteração no padrão de moradia dos indivíduos que ocupam a faixa sul da Zona de Amortecimento, essa alteração é perceptível se compararmos com a imagem de 2006 em que os telhados das edificações possuíam tonalidades diferentes das apresentadas na imagem de 2016.

A região norte do município de Santa Maria, em que situa o Parque Natural dos Morros já foi um grande polo atrativo da cidade principalmente em função da ferrovia. Por isso, o adensamento urbano que não se intensificou nos anos de 2006 à 2016 (figura 2) pode estar associado a decadência da ferrovia, pois houve uma redução significativa nesse modal de transporte no município. Em contraposição, segundo Nascimento e Moura (2014) o crescimento da população urbana da cidade de Santa Maria se deu na direção centro-leste e leste, no bairro Camobi, próximo a Universidade Federal de Santa Maria onde ocorreu densificação com a substituição de residências unifamiliares simples, por edifícios de apartamentos com quatro pavimentos, em sua grande maioria, destinados à moradia de estudantes e uma progressiva ocupação dos vazios existentes entre o bairro Camobi e o Centro da cidade, principalmente por loteamentos dirigidos às classes médias e altas.

Em relação ao uso e cobertura da terra (figura 03) na Zona de Amortecimento do Parque dos Morros se observa que o adensamento urbano é significativo nas porções sudeste e sul da Zona do Parque. Ao norte cabe destacar que há grandes faixas de campos, esses fragmentos se dividem em campos preservados, áreas de pastagens e uso agrícola. Ao sudoeste da área do Parque, se observa que há uma área preservada, que se dá em função da acentuada declividade do relevo da região.

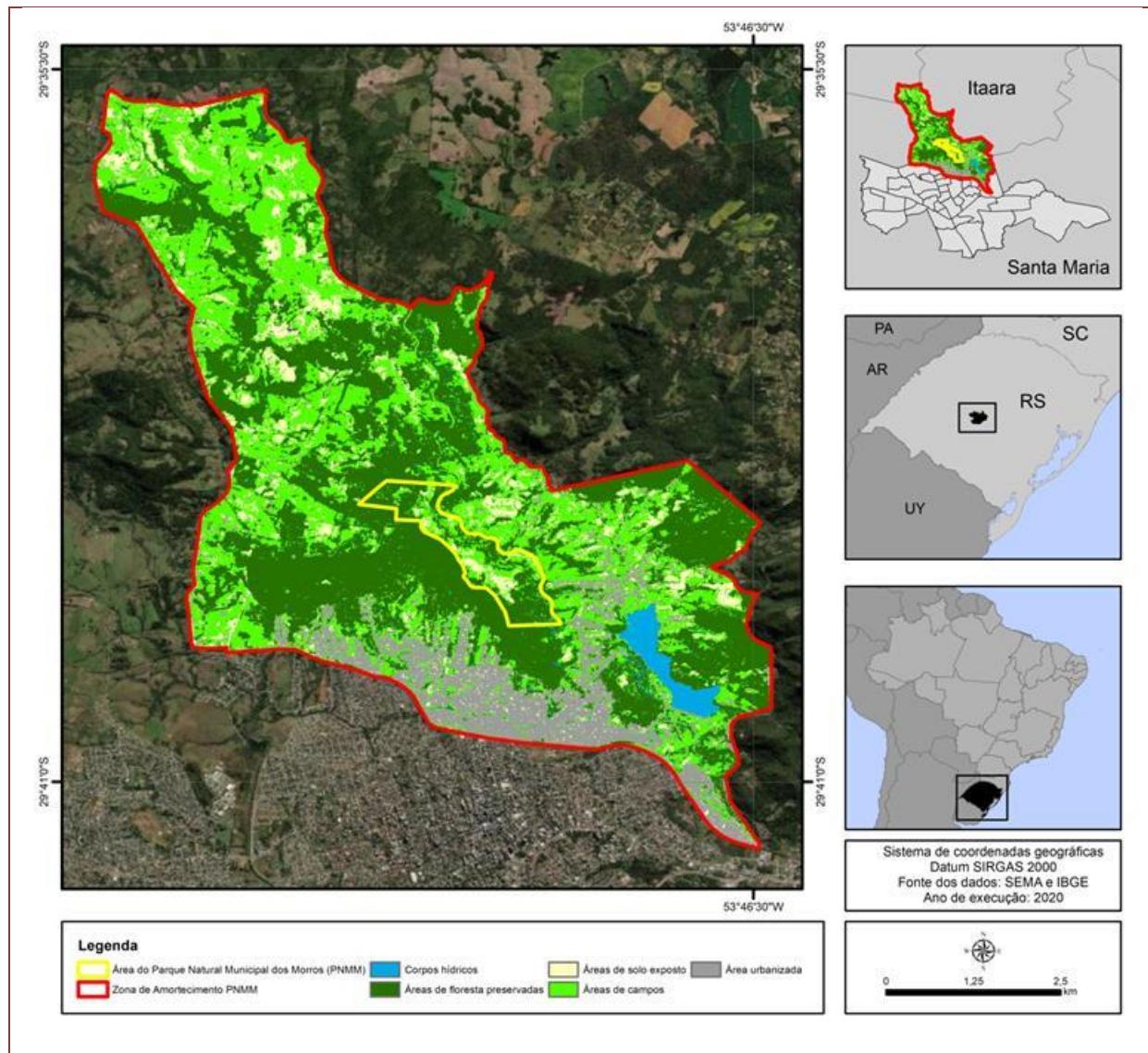
**Figura 02** – Série Histórica da Área da Zona de Amortecimento do Parque Natural Municipal dos Morros (1996; 2006 e 2016)



Fonte: Google Earth (2021).

Alguns corpos hídricos e canais não reproduzidos através do método de classificação supervisionada do software estão situados ao norte da Zona, próximos as áreas de campos e solo exposto, concentram-se alguns pequenos reservatórios que se caracterizam como açudes, o que identifica a presença de atividades rurais. O reservatório em destaque no eixo sul do Parque dos Morros se trata da barragem do DNOS, que está situada no bairro Campestre do Menino Deus e possui grande importância para parte do abastecimento de água do município de Santa Maria bem como para a prática de esportes náuticos realizados.

Há extensas áreas de solo exposto próximas à porção norte da Zona de Amortecimento o que cabe a estudos futuros observar o comportamento dessas áreas que podem estar sendo afetadas pelo plantio indevido ou espécies invasoras presentes na região. Essas áreas apresentam as características de áreas cultivadas que foram degradadas pelo uso incorreto que ocorreu na perda da biota e configuraram-se atualmente como áreas de solo exposto e podem futuramente gerar impactos na Unidade de Conservação.

**Figura 03** – Uso e Ocupação na Zona de Amortecimento do Parque Natural Municipal dos Morros

Fonte: Secretaria do Meio Ambiente (2019) e Malha cartográfica do IBGE (2010).  
Elaborado pelos autores (2021).

As áreas de campos e florestas preservadas caracterizam bem a transição dos Biomas (Mata Atlântica e Pampa) as florestas preservadas se concentram próximos das áreas de delimitação do Parque e ao leste da Zona de Amortecimento em direção ao Município de Itaara. As áreas de campos (cor verde claro no mapa) características do bioma Pampa ao norte de Zona também se apresentam como campos preservados e em alguns casos é possível perceber que são usados como áreas de pastagens.

No que diz respeito aos usos urbanos dentro da Zona de Amortecimento se destacam o fluxo de veículos que se direciona no sentido Santa Maria - Itaara e vice versa, como uma rota alternativa realizada na Estrada do Perau (figura 04) no bairro Campestre, esse fluxo é bastante significativo de carros e nesse trecho é proibido transitar com veículos de grande porte como caminhões e ônibus por ser uma estrada bastante íngreme. Portanto, essa regra e o relevo possibilitam um controle de poluentes e a diminuição na frota de veículos que circulam nesse trecho dentro da Zona do Parque.

Há também a influência da ferrovia em praticamente todos os bairros situados dentro da Zona de Amortecimento, a função da ferrovia atualmente é destinada ao transporte de cargas de produtos comerciais, maior parte deles são produtos alimentícios. Os bairros da região do entorno da ferrovia tiveram sua formação e povoamento influenciados pelo crescimento e pela função essencial que esta teve para a formação da cidade. Hoje em dia, menos utilizada, a ferrovia encontra-se bastante degradada, o reflexo disso pode ser percebido na figura 04 que apresenta a situação atual da Gare da estação férrea que

era o principal ponto de fluxo e aglomeração de pessoas que utilizavam esse modal de transporte.

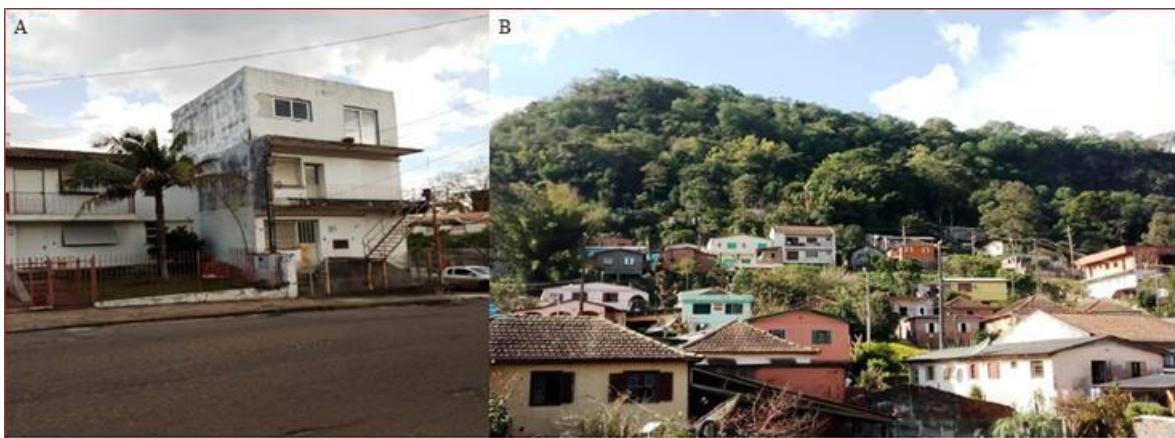
**Figura 04** – Estrada do Perau (A) Gare da Estação Férrea em Santa Maria – RS (B)



Fonte: Os autores (2021).

No que se refere às moradias e comércio, a Zona de Amortecimento do Parque dos Morros não possui grandes edificações e nem usos industriais, há pontos comerciais de médio e pequeno porte que não ocupam grandes extensões territoriais. A respeito da situação das moradias, essas não excedem a estrutura acima de três andares em nenhum dos bairros dentro da Zona de Amortecimento e se concentram em sua maioria para população de classe média (figura 05) situada principalmente nos bairros Itararé e Perpétuo Socorro (mais próximos do centro da cidade). Em contrapartida, há diversas moradias irregulares em situação de risco suscetíveis e deslizamentos de terra que já foram alvo de diversos trabalhos (KNIERIN, SANTOS, AIMON e ROBAINA, 2016; SOUZA, MARTINS E ARNUTI, 2003) principalmente no bairro Campestre no entorno de ferrovia (figura 05).

**Figura 05** – Tamanho médio das edificações (A) Moradias no Morro do Cechella (B)



Fonte: Os autores (2021).

#### 4. CONCLUSÕES

As estimativas apontam que os bairros situados na Zona de Amortecimento do Parque dos Morros possuem aproximadamente 15.000 habitantes (IBGE, 2010) em sua totalidade. Entretanto, através do monitoramento das imagens de satélite e trabalhos de campo pela região foi possível perceber que as edificações e bairros não apresentam grandes impactos oferecendo riscos imediatos à degradação do Parque dentro do seu perímetro urbano. Um dos problemas residenciais observados é a falta de saneamento em parte dos Bairros Campestre, Chácara e Caturrita e o descarte irregular observados em todos os bairros que podem gerar impactos ao Parque dos Morros. Parte da redução no crescimento da população urbana está associada à decadência da ferrovia e ao crescimento da cidade de Santa Maria no sentido na direção leste, impulsionado principalmente pela presença da Universidade Federal de Santa Maria ou pela falta de espaço que ocasionou em diversas áreas a ocupação irregular.

Cabe destacar que há um fluxo de carros que se intensifica no bairro Campestre pela Estrada do Perau e na direção dos bairros para o Centro da cidade em que se situa o comércio e empreendimentos de maior porte da cidade. O fluxo intenso e controle de ruídos na Estrada do Perau estes são minimizados pela restrição de veículos de grande porte que não devem trafegar nessa área. Entretanto, esse fluxo condiciona o atropelamento de espécies de fauna que circulam nessa região.

Quanto ao método utilizado na classificação da imagem os resultados foram satisfatórios, apesar de generalizar algumas áreas facilmente confundidas pela variável visual cor. A zona do Parque dos Morros possui um número significativo de residências e estradas e em sua faixa norte de uso rural apresenta várias faixas de solo exposto facilmente observados nas análises. Ademais, cabe destacar a importância da ocorrência de mais pesquisas que auxiliem no monitoramento das UCs, bem como de suas áreas de entorno, para que de fato sejam efetivas e de que essa importância seja ressaltada e trabalhada dentro da(s) comunidades inseridas nas Zonas de Amortecimento com atividades de divulgação e Educação Ambiental.

Por fim, os objetivos propostos foram realizados pela pesquisa e fica em aberto para estudos futuros que investiguem mais detalhadamente os usos na área de entorno do Parque dos Morros com outros métodos de classificação que auxiliem no monitoramento das Unidades de Conservação conforme as legislações. Com a aplicação de novas metodologias e investigações de usos eficazes para a conservação e proteção ambiental.

#### AGRADECIMENTO

Os autores (as) agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da pesquisa.

#### REFERÊNCIAS

- [1] BEIROZ, H. Zonas de amortecimento de Unidades de Conservação em ambientes urbanos sob a ótica territorial: reflexões, demandas e desafios. Revista de Desenvolvimento do Meio Ambiente, v. 35, p. 275-286, dez. 2015.
- [2] CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Estabelece normas específicas para utilização, recuperação e conservação ambiental do entorno das Unidades de Conservação. Resolução nº 319/2016. Porto Alegre, 2016.
- [3] FERREIRA, G. PASCUCHI, P. Zona de Amortecimento: A proteção ao entorno das unidades de conservação. In: Âmbito Jurídico, Rio Grande, XII, n. 63, abr 2009.
- [4] IBAMA (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS). Roteiro metodológico de planejamento: parque nacional, reserva biológica, estação ecológica. Brasília: Ibama, 2002.
- [6] ICMBIO. Roteiro metodológico para elaboração de planos de manejo de florestas nacionais. Brasília: ICMBio, 2009.
- [7] ICMBIO. Sistema Nacional de Unidades de Conservação. Série: Legislação ICMBio. Brasília, 2009.
- [8] KNIERIN, I, SANTOS, V. AIMON, J. ROBAINA, L. Análise do Uso e Ocupação da Terra e as Condições de Risco a Movimentos de Massa no Morro Cechella - Santa Maria/RS. In: Anais do 5º Fórum Internacional Ecoinovar. Santa Maria/RS, 2016.
- [9] NASCIMENTO, M. MOURA, N. Análise Espacial da Expansão Urbana de Santa Maria- RS e Tendências Atuais.

Boletim Gaúcho de Geografia, 41 Porto Alegre/RS, 2014.

[10] SANTA MARIA, Resumo Executivo Plano de Manejo do Parque dos Morros. Prefeitura Municipal de Santa Maria. Geoprospec Geologia e Projetos Ambientais Ltda, 2013.

[11] SANTOS, A. SANTOS, F. Mapeamento das Classes de Uso e Cobertura do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Vaza-Barris, Sergipe. Revista Multidisciplinar da UNIESP - n º 10 - Dez. 2010/ ISSN 1980-5950, São Paulo/SP, 2010.

[12] SOUZA, B. MARTINS, E. ARNUT, F. Proposta de Planejamento Físico-Territorial do Bairro Itararé – Santa Maria/RS. In: Anais do X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Rio de Janeiro/RJ, 2003.

# Capítulo 13

*Utilização de classificador Maximum Likelihood para detecção de mudanças na região da Usina Hidrelétrica de Belo Monte através de imagens Landsat-5 e Landsat-8*

*Andressa Kossmann Ferla*

*Breno Magno Silva dos Santos*

*Kelly Cristina Pottratz Noronha*

*Janderlei Velasque Dal Osto*

*Lucas Mauricio Willecker dos Santos*

**Resumo:** Uma das fontes de energia amplamente utilizadas no Brasil são as usinas hidrelétricas, tais obras têm grande repercussão em sua criação, principalmente no distrito amazônico, que inunda grandes regiões, consequentemente gerando grandes impactos ambientais e sociais. Atualmente o uso do sensoriamento remoto, permite um monitoramento de mudanças que influenciam nas formas de interação, observação e representação do espaço geográfico, permitindo um estudo mais aprofundado da dinâmica espacial em sua análise espaço-temporal. Desta forma, o objetivo do trabalho é utilizar o classificador de imagem Maximum Likelihood (ML) para realizar a classificação do uso e cobertura da terra com intuito analisar quantitativamente e temporalmente as mudanças na cobertura da terra na região da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, utilizando imagens dos satélites Landsat-5 antes da instalação no ano de 2011 e Landat-8 após a instalação no ano de 2020. Com a quantificação das classes presentes na imagem de 2020, destaca-se o aumento de 7,4% (2011) para 10,06% (2020) de área ocupada pela água, através do classificador ML obteve-se um valor de índice Kappa de 0,9662 e 0,8580 respectivamente, caracterizando a classificação como uma qualidade excelente e os valores de acurácia foram maiores que 90% em ambas as imagens. A partir dos dados analisados, constata-se que a construção da usina hidrelétrica de Belo Monte causou dentre diversas modificações, especialmente mudanças na paisagem, perda de vegetação e desequilíbrio ecológico local, fato atribuído principalmente ao desvio do Rio Xingu.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto; Classificação de imagem; Mudanças na cobertura da terra.

## 1. INTRODUÇÃO

Definidas como grandes obras que utilizam a força e movimento da água para produção de energia, as usinas hidrelétricas são obras que necessitam da integração entre a vazão do rio, o desnível do terreno e a quantidade de água disponível, para a sua efetivação. Entretanto, apesar de sua contribuição energética, muito se debate sobre os danos socioambientais destas construções, especialmente no que se diz às áreas alagadas, perda de vegetação e mudança do relevo e habitats naturais. O complexo hidrelétrico de Belo Monte, nomeada a quarta maior usina hidrelétrica do mundo em capacidade instalada, é a maior genuinamente brasileira, localizado no estado do Pará é referência em empreendimento que proporcionou crescimento urbano e econômico na região, todavia com ele trouxe impactos ambientais significativos para a região onde está localizada como também no seu entorno.

A exploração de recursos naturais demonstra crescimento progressivo, revelado pelos altos índices anuais de desmatamento causados pela retirada de madeira, mineração e produção pecuária e agrícola, no estado do Pará, além disso há um questionamento a respeito da viabilidade e sustentabilidade socioambiental da instalação e funcionamento de empreendimentos como a Usina Hidrelétrica de Belo Monte localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Xingu (FREIRE; LIMA; SILVA, 2019).

É possível estudar as mudanças de cobertura do solo em grandes áreas através do sensoriamento remoto, o qual é uma ferramenta que por meio de técnicas junto a algoritmos permitem esse tipo de avaliação, além de realizar o monitoramento espaço-temporal de áreas heterogêneas com alta precisão, podendo avaliar principalmente a biomassa vegetal e seu padrão (BEZERRA *et al.*, 2020).

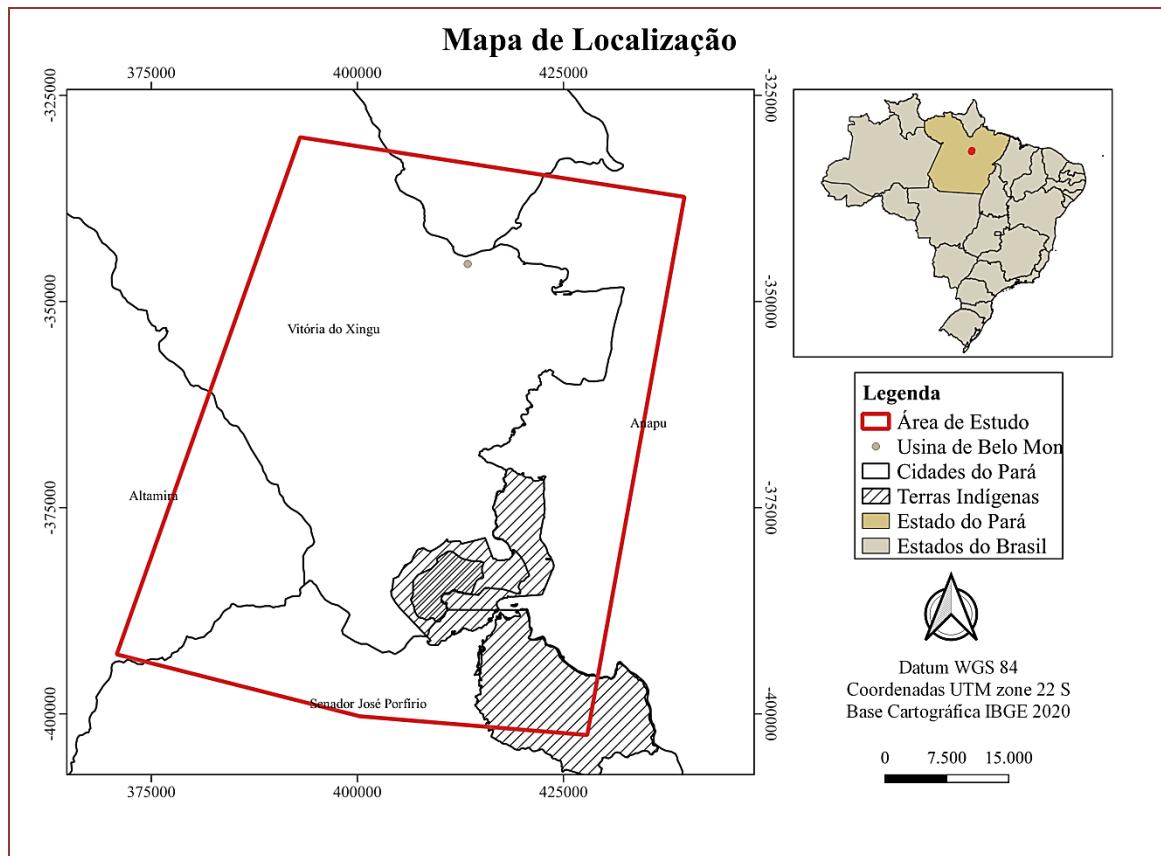
O classificador *Maximum Likelihood* (ML) é um método de classificação supervisionada comumente utilizado, seu algoritmo pressupõem a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe (PEREIRA *et al.*, 2016). Desta forma, o objetivo do trabalho é a utilização de técnicas de sensoriamento remoto para analisar quantitativamente e temporalmente as mudanças na cobertura da terra na região da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, através de classificação de uso e cobertura da terra antes e depois de sua instalação, utilizando o classificador ML, a partir de imagens dos satélites Landsat-5 e Landat-8.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

A Usina Hidrelétrica de Belo Monte (UHEBM) está instalada no rio Xingu no município de Vitória do Xingu, estado do Pará, próximo a convergência com a rodovia Transamazônica/BR-230 tem capacidade de 11.2GW, sendo a maior hidrelétrica brasileira, processo de implementação da usina envolveu uma área total de inundação superior a 500Km<sup>2</sup>, sendo aproximadamente 380Km<sup>2</sup> localizados no chamado Reservatório do Xingu (Rio Xingu) (ELETROBRAS, 2009), as áreas alagadas estão localizadas entre os municípios de Altamira e Vitória do Xingu a hidrelétrica abrange ainda os municípios de Anapu e Senador José Portólio (Figura 1).

O estudo de impacto ambiental feito pela Eletrobrás (2009) identificou as Áreas de Influência Direta (AID) e indireta (AII) e a Área Diretamente Afetadas (ADA) da UHEBM. A AID é delimitada pela extensão dos impactos ocasionados pela instalação e operação do empreendimento, ocupando, ao todo, aproximadamente 4.600 Km<sup>2</sup>, nessas áreas estão localizadas as Terra Indígena (AI) Arara da Volta Grande do Xingu e TI Paquiçamba. A AII que sofre impactos indiretos decorrentes das alterações que aconteceram em áreas mais próximas ocupa um espaço de aproximadamente 25.400Km<sup>2</sup> nela estão localizadas as AI Juruna do Km 17, TI Arara, TI Koatinemo, TI Trincheira Bacajá. E a Área Diretamente Afetada (ADA) é ocupada por toda a infraestrutura necessária para a instalação e operação da Usina, incluindo também as estradas de acesso e as áreas inundadas, correspondendo a aproximadamente 1.500Km<sup>2</sup>, a TI Paquiçamba teve sua área ocupada pela obra, neste local, o leito do rio o qual teve sua vazão reduzida com o desvio do rio Xingu. (ELETROBRAS, 2009).

**Figura 1:** Mapa de localização da Área de Estudo

Fonte: Os autores, 2022.

De acordo com o Inmet (2022), o clima da região, segundo a classificação de Köppen, é caracterizado como tropical úmido (Am), apresentando uma temperatura média anual de 25º C, com precipitação média de 2.300 mm anuais, sendo de janeiro a abril o período de maior precipitação e de julho a outubro o de menor precipitação.

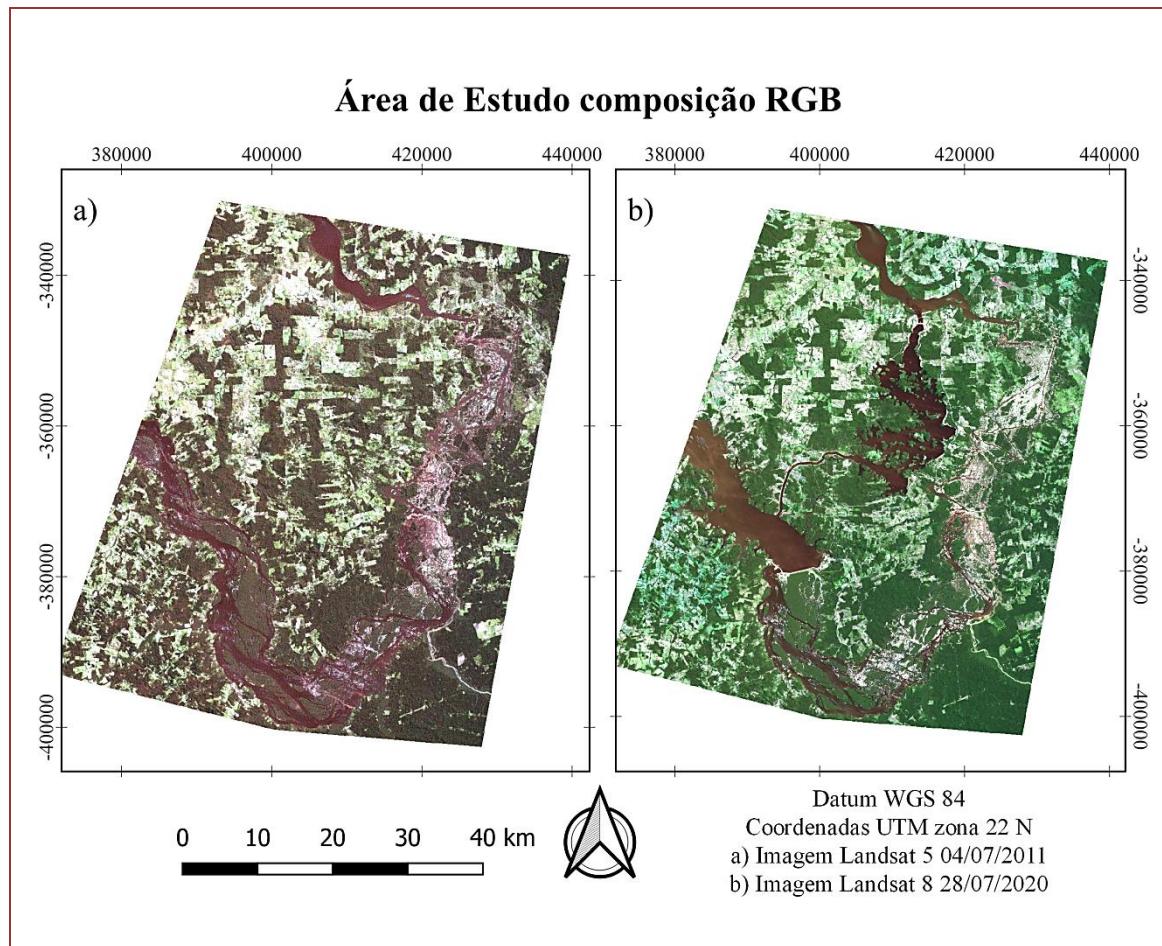
A vegetação encontrada na área é caracterizada de acordo com MPEG (2002) como floresta ombrófila densa de terra firme, com emergentes e relevo acidentado (primária e com extração seletiva de madeira); floresta ombrófila aberta com palmeira e relevo acidentado; floresta ombrófila aberta com cipó e palmeira e relevo acidentado; e floresta ombrófila aluvial periodicamente inundada.

## 2.2 PRÉ-PROCESSAMENTO

No estudo foram adquiridas imagens de sensoriamento remoto sem a presença de nuvens da série Landsat 5 da data de 04/07/2011 com resolução espacial de 30 metros, resolução radiométrica de 8 bits, e imagem Landsat 8 da data de 28/07/2020 com resolução espacial de 30m e resolução radiométrica de 16 bits em ambas as imagens cobrindo as bandas Red, Green, Blue e NIR (Figura 2). As séries Landsat estão sendo a fonte de dados comumente utilizada para a classificação da cobertura da terra e detecção de mudanças utilizando série temporal devido a sua disponibilidade de dados de longo prazo e sem custos. Porém na região de estudo, devido ao fato de ser uma região tropical úmida teve-se uma restrição para conseguir dados livres de nuvens, o que limitou o estudo, utilizando apenas uma imagem antes e depois da instalação da UHEBM.

No software Envi Classic 5.3 foi realizado o pré-processamento das imagens, e obtenção das amostras de treinamento, para isso foram definidas cinco classes: campo, solo exposto, areia, água e floresta/vegetação densa e coletadas aproximadamente cinquenta amostras de cada classe e diferentes amostras para cada imagem, com o auxílio do Google Earth foi realizada a diferenciação e interpretação visual das classes.

**Figura 2:** Composição RGB, da área de estudo a) Região antes da implantação no ano de 2011 e b) Região após implantação no ano de 2020



Fonte: Os autores, 2022.

### 2.3 PROCESSAMENTO E PÓS-PROCESSAMENTO DOS DADOS

No software Envi Classic 5.3 foi realizada a classificação das imagens. A partir das amostras coletadas, foram utilizadas as bandas *Red*, *Green*, *Blue* e *NIR* como as variáveis para a classificação supervisionada utilizando o classificador *Maximum Likelihood* (ML) que determina a probabilidade de uma célula pertencer a cada um dos grupos de classes pré-definidos, sendo concedida para célula a classe de mais alta probabilidade (NOVO, 1992). Conforme FEYISA *et al.* (2014) o ML é um dos métodos mais aplicados na classificação da cobertura da terra.

Após a classificação foi realizado o pós-processamento, ainda no software Envi 5.3 foi gerada a Matriz de confusão, o índice Kappa e acurácia para a validação das classificações, segundo Novo (2010) a matriz de confusão serve para comparar o mapa derivado da imagem classificada com um mapa de referência, e é a forma mais exata de se representar a exatidão da classificação.

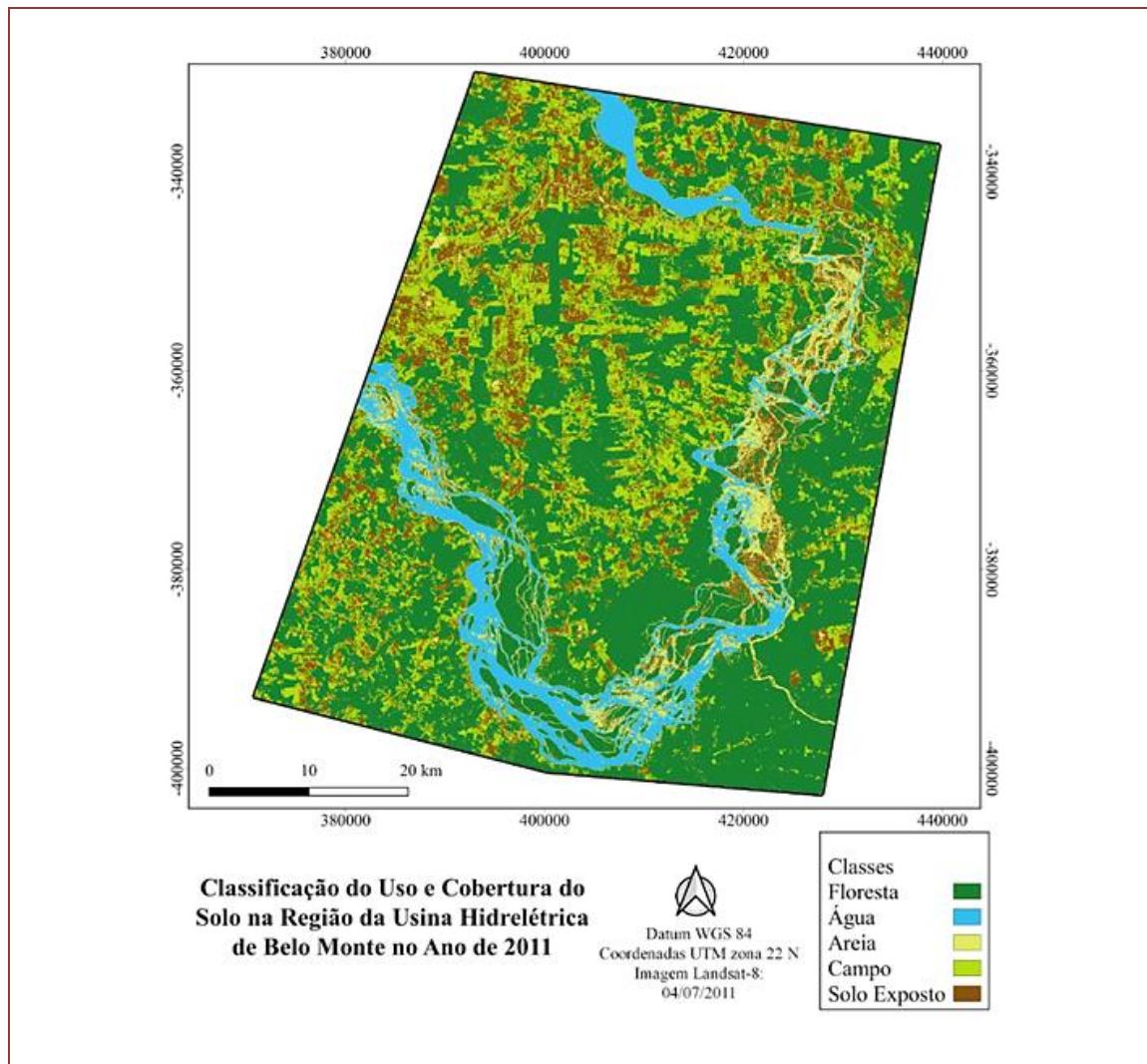
Segundo Novo (2010), torna-se necessário após a classificação de imagens digitais, avaliar a sua exatidão, ou seja, a determinação de quão bom é o resultado da classificação em relação à realidade. Para se avaliar a acurácia do mapeamento elaborado, pode ser utilizado de análises estatísticas provindas de matrizes de erros que expressam a concordância entre a imagem classificada e o conjunto de amostras de referência. A matriz de erros compara, classe por classe, verificando se a classe à qual determinado alvo foi incluído corresponde a sua verdadeira classe. A matriz normalmente apresenta o número de linhas e o número de colunas iguais ao número de classes espectrais do estudo (MENESES e ALMEIDA, 2012). A avaliação da acurácia pode ser obtida por meio de coeficientes de concordância; dentre os mais usuais, se destaca o índice Kappa (COHEN, 1960). Esse índice se caracteriza por ser uma técnica multivariada discreta usada na avaliação da precisão de mapeamentos temáticos, utilizando todos os elementos da matriz de erros em seu cálculo.

No software Qgis 3.22.4 foi realizado a vetorização do mapa matricial, para realizar a quantificação das áreas dos polígonos de cada classe. Em seguida criados os mapas temáticos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 3 apresenta o resultado da classificação *Maximum Likelihood* (ML) realizada utilizando a imagem Landsat-5 referente ao ano de 2011, obteve-se a diferenciação das cinco classes pré amostradas: Floresta, Água, Areia, Campo e Solo Exposto. Da mesma forma que pode identificar o curso normal do rio Xingu, antes da implantação da Usina Hidrelétrica.

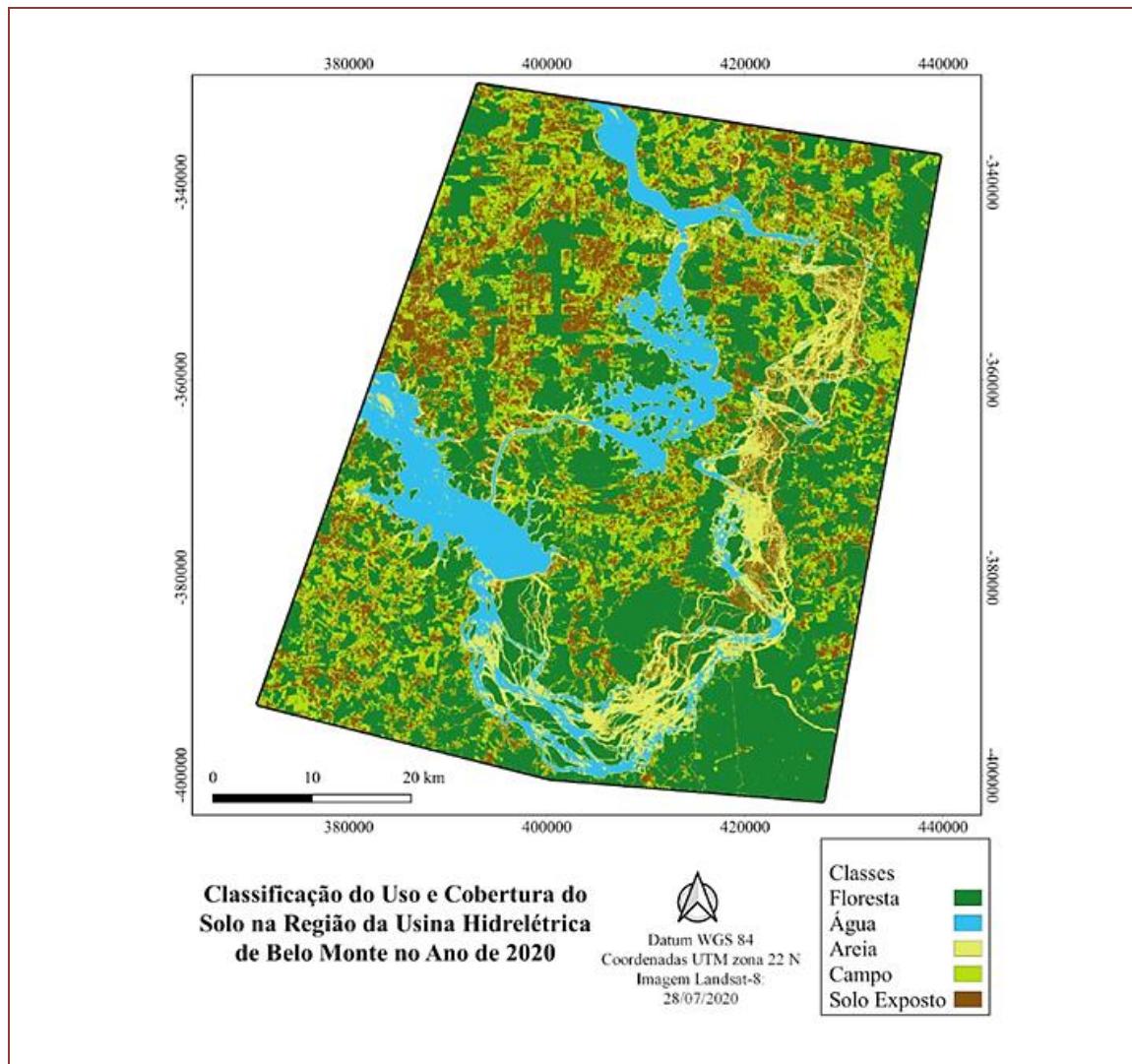
**Figura 3:** Resultado da Classificação utilizando Maximum Likelihood (ML), utilizando imagem Landsat-5 da data de 04/07/2011



Fonte: Os autores, 2022.

Através da realização da classificação imagem Landsat-8 referente ao ano de 2020, pode-se perceber visualmente o desvio do curso do Rio Xingu após a implantação da Usina Hidrelétrica de Belo Monte. Assim como também, as mudanças em quantidade nas áreas alagadas, áreas de vegetação e áreas com areia principalmente (Figura 4).

**Figura 4:** Resultado da Classificação utilizando Maximum Likelihood, utilizando imagem Landsat-8 da data de 28/07/2020



Fonte: Os autores, 2022.

Com a quantificação de cada classe, e a diferenciação entre os dois anos sem implantação da usina hidrelétrica (2011) e pós-implantação da usina (2020), obteve-se que às áreas ocupadas por água, areia e solo exposto tiveram um aumento. Sendo que o maior aumento foi de área com areia sendo de 12.126,20ha, seguido pelas áreas com água/alagadas 9.402,70ha e solo exposto com um aumento de 4.978,70ha. Já as classes compostas por vegetação e campo tiveram uma diminuição, sendo de 25.104ha e 1.403,30ha respectivamente (Tabela 1). De acordo com Norte Energia (2016) foi suprimido um total de 20.905,03ha, sendo 6.573,46 ha para obras civis e 14.331,57 ha para os reservatórios.

Na Volta Grande do Xingu o leito é caracterizado por apresentar baixa profundidade com a presença de afloramentos rochosos acima do nível fluvial, com o desvio do leito do rio Xingu, houve a redução da vazão do rio nesse local, o que implicou de forma progressiva na dinâmica do relevo fluvial, em que o aporte de sedimentos vem sendo modificado (FREIRE; LIMA; SILVA, 2019).

Podemos ainda observar na região da Volta Grande do Xingu no município de Anapu, uma diminuição da área de floresta e um aumento da área de campo, isso pode ser resultado do aumento da população na região, consequentemente uma maior exploração daquela região. No município de Altamira também pode-se identificar a diminuição da área de floresta. De acordo com Freire, Lima e Silva (2019) com o aumento populacional na região nos municípios de Altamira, Vitória do Xingu e Brasil Novo teve uma intensificação do uso e ocupação desordenados do solo causou a supressão da cobertura vegetal, impermeabilização do solo, além da construção de fossas sépticas sem rigor, contaminando o lençol freático.

**Tabela 1** - Diferenciação de área das diferentes classes do ano de 2011 em relação ao ano de 2020

Classe	2011		2020		Aumento de Área (ha)	Diminuição de Área (ha)
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)		
Vegetação	182.731	51,69413	157.627	44,59208	-	25.104
Água	26.187,70	7,408433	35.590,40	10,06845	9.402,70	-
Areia	21.999	6,223461	34.125,20	9,653951	12.126,20	-
Campo	74.579,10	21,09824	73.175,80	20,70129	-	1.403,30
Solo Exposto	47.988,20	13,57574	52.966,90	14,98423	4.978,70	-
<b>TOTAL</b>	<b>353.485</b>	<b>100</b>	<b>353.485</b>	<b>100</b>		

Fonte: Os autores, 2022.

Para a averiguação e validação dos dados apresentados, avaliou-se o classificador através do índice Kappa e acurácia. O classificador *Maximum Likelihood* utilizado nas imagens de Landsat-8 e Landsat-5, obteve um valor de índice Kappa de 0,9662 e 0,8580 respectivamente, caracterizando a classificação como uma qualidade excelente em ambas as imagens de acordo com a tabela proposta por Landis & Koch (1977). Além do índice Kappa, os valores de acurácia apresentaram valores adequados, sendo para a imagem Landsat - 8 Acurácia de 91,58 e para a imagem Landsat-5 acurácia de 98.

#### 4. CONCLUSÃO

A partir dos dados analisados, constata-se que a construção da usina hidrelétrica de Belo Monte causou dentre diversas modificações, especialmente mudanças na paisagem, perda de vegetação e desequilíbrio ecológico local, fato atribuído principalmente ao desvio do Rio Xingu. O desvio do mesmo ocasionou o alagamento de regiões que antes eram recobertas por vegetações, solo exposto ou áreas de campo, causando um acréscimo de 9 402,70ha de área alagada. O desvio provocou também a diminuição considerável da vazão do seu curso original, que consequentemente sofreu seca na maior parte do seu percurso, aumentando as áreas recobertas por areia (aumento de 12.126,20ha). Entretanto, a diminuição da vegetação e aumento de áreas com solos expostos presentes na área de estudo, pode ser atribuída também, ao desmatamento regional, além do desmatamento para a construção da usina.

Sendo assim, a veracidade dos dados foi constatada através da qualidade de resposta do índice Kappa e resultado de acurácia do classificador *Maximum Likelihood* em relação as imagens, visto que conforme a tabela proposta por Landis & Koch (1977) os resultados se classificaram como qualidade excelente.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a identificação de mudanças na cobertura da terra ocasionado pela construção de usinas hidrelétricas se mostra eficaz, capaz de gerar informações relevantes para órgãos gestores do meio ambiente, objetivando trazer maior controle sobre os impactos ambientais causados por ações antrópicas no meio ambiente.

#### REFERÊNCIAS

- [1] BISHOP, Y. M.; FEINBERG, S. E. & HOLLAND, P. W. Discrete Multivariate Analysis - Theory and Practice. Cambridge, Mass., the mit press, 357 p., 1975.
- [2] BEZERRA, Alan Cézar *et al.* Monitoramento Espaço-Temporal da Detecção de Mudanças em Vegetação de Caatinga por Sensoriamento Remoto no Semiárido Brasileiro. Revista Brasileira de Geografia Física, [s. l.], vol. 13, n. 1, p. 286, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/242713>.
- [3] ELETROBRAS –Centrais Elétricas Brasileiras. Aproveitamento Hidrelétrico Belo Monte. Brasília, 100 p. Maio 2009. Disponível em: [https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/geracao/belo\\_monte/Rima-AHE-Belo-Monte.pdf](https://eletrobras.com/pt/AreasdeAtuacao/geracao/belo_monte/Rima-AHE-Belo-Monte.pdf)
- [4] FEYISA, Gudina L. *et al.* Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, [s. l.], vol. 140, p. 23–35, 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425713002873>.

- [5] FIGUEIREDO, G. C.; VIEIRA, C.A.O. Estudo do comportamento dos índices de exatidão global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens de sensoriamento remoto. In: Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, Florianópolis: INPE, p. 5755-62, 2007.
- [6] INMET –Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa, 2021. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>
- [7] KLECKA, W. R. Discriminant Analysis. SAGE Publications, Inc., Beverly Hills, California, 71 p., 1980.
- [8] LANDIS, J. R; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v.33, n.1,p. 159-174, 1977.
- [9] MAHL F. A. Um estudo da usina de Belo Monte. 2015. 59p. Projeto de diplomação (Engenharia elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- [10] MPEG -Museu Paraense Emílio Goeldi. Diagnóstico da vegetação e da flora da área de estudo da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, Estado do Pará. Belém: Convênio MCT-MPEG/ELETRO NORTE. Relatório Técnico, 171 p. 2002.
- [11] MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI. Diagnóstico da vegetação e da flora da área de estudo da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, Estado do Pará. Belém: Convênio MCT-MPEG/ELETRO NORTE, 2002. Relatório Técnico. 171 p.
- [12] NORTE ENERGIA. Projeto Básico Ambiental: 10º relatório consolidado de andamento do PBA e do atendimento de condicionantes. Capítulo 3: Status do atendimento das condicionantes da LI nº 795/2011. Brasília, 2016
- [13] OLIVEIRA A. B. B. Análise quantitativa e multitemporal da área alagada da usina hidrelétrica de belo monte após a implantação, através de imagens dos satélites landsat-5 e landsat-8. 2017. 51p. Pré-projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2017.
- [14] PASSO D. P. Análise da qualidade de classificadores para identificação de alvos urbanos em imagens de alta resolução espacial - uma aplicação com as imagens do satélite worldview ii. 2013. 122p. Dissertação de Mestrado (mestrado em Geociências) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.
- [15] PEREIRA, A. A.; TEIXEIRA, F. R.; LIBONATI, R.; MELCHIORI, E. A.; CARVALHO, L. M. T. Avaliação De Índices Espectrais Para Identificação De Áreas Queimadas No Cerrado Utilizando Dados Landsat Tm. *Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.]*, v. 68, n. 8, 2016. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44386>. Acesso em: 13 out. 2022.
- [16] PRADO, F. A. Sistema hierárquico de classificação para mapeamento da cobertura da terra nas escalas regional e urbana. 2009. 164p. Dissertação de mestrado - Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente, São Paulo, 2009.
- [17] SALOMÃO, R.; VIEIRA, I. C.; SUEMITSU, C.; ROSA, N.; ALMEIDA, S.; AMARAL, D.; MENEZES, M. P. As florestas de Belo Monte na grande curva do rio Xingu, Amazônia Oriental. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais*, v. 2, n. 3, p. 57-153, 17 dez. 2007.

# Capítulo 14

## *Inovação e empreendedorismo: Ideias para novos negócios*

*Fernando Henrique Lermen*

*Maria Cecilia Ferrari de Carvalho Teixeira*

*Nathalya Albina da Silva Pereira*

*Roselis Natalina Mazzuchetti*

**Resumo:** Inovação e empreendedorismo são fatores que possuem a capacidade de potencializar e impulsionar um país. Uma abordagem para gerenciar esses fatores são os ecossistemas de inovação, que funcionam apenas com abordagens de inovação como *lean startup* e *design thinking*. O fomento da universidade empreendedora é essencial para a resolução de problemas da sociedade a partir do desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis. Neste contexto, este estudo objetiva apresentar um evento piloto denominado 'Olhar Empreendedor' para disseminação de empreendedorismo e inovação em universidades paranaenses. Para isto, este estudo empírico emprega entrevistas estruturadas utilizando alpha de cronbach para avaliar a consistência, além de estatística descritiva e análise de conteúdo. Como principais resultados ressalta-se o desenvolvimento de dois produtos, dois serviços e dois aplicativos voltados à resolução de problemas da sociedade e demais stakeholders. Como contribuição teórica ressalta-se o uso de metodologias para desenvolvimento de ofertas inovadoras e como práticas têm-se uma ação de extensão que promove pensamento empreendedor em diversos níveis de formação.

**Palavras-chave:** Universidade empreendedora; Inovação; *Lean Startup*; *Design Thinking*; Prototipagem.

## 1. INTRODUÇÃO

Inovação e empreendedorismo são fatores que possuem a capacidade de potencializar e impulsionar um país (Quinn, 1979; Piñero-Chousa et al., 2020; Chakrabarty et al., 2021). Para que esses fatores funcionem, torna-se necessário projetar uma sequência de etapas em formato de projeto, contudo essa transformação demanda investimento, seja ele para o desenvolvimento da própria inovação ou para a obtenção do conhecimento necessário para isso (Di Vaio et al., 2021; Kreiser et al., 2021). Não obstante, ressalta-se a importância da criação de um ambiente oportuno que viabilize o projeto, que seja capaz de compartilhar conhecimento entre parceiros, sejam eles universidades, empresas e governo (Leonidou et al., 2017; Randhawa et al., 2021).

“Um ecossistema de inovação é o conjunto em evolução de atores, atividades e artefatos, e as instituições e relações, incluindo relações complementares e substitutas, que são importantes para o desempenho inovador de um ator ou de uma população de atores” (Granstrand and Holgersson, 2021, p. 3). Por outro lado, Rubens (2014) corrobora que um ecossistema de inovação vital é caracterizado por um alinhamento contínuo de relações sinérgicas que promovem o crescimento harmonioso do sistema em capacidade de resposta ágil às mudanças de forças internas e externas.

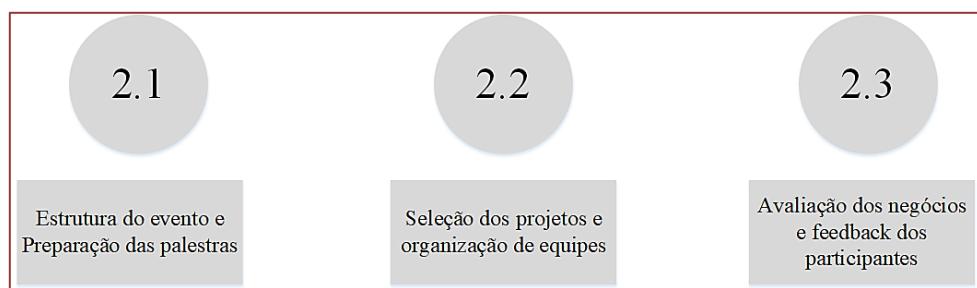
O fomento à ecossistemas de inovação ocorre apenas quando estruturado a partir de metodologias de desenvolvimento de produtos e serviços ágeis, buscando compreender o que é valorizado por diferentes stakeholders (Silva et al., 2020; Peralta et al., 2020). De acordo com Buchanan (1992), o *Design Thinking* é uma abordagem baseada em experimentos com equipes multidisciplinares e visa resolver problemas complexos e gerar soluções inovadoras por meio de uma etapa de identificação de problemas. Por outro lado, Ries (2011) relata que o *Lean Startup* é uma abordagem baseada em soluções visando testar empiricamente hipóteses que buscam a criação de um mínimo produto viável que atenda uma demanda real dos clientes.

No intuito de desenvolver um ecossistema de inovação a partir dessas abordagens, este estudo objetiva apresentar um evento piloto denominado Olhar Empreendedor para disseminação de empreendedorismo e inovação em universidades paranaenses. Este estudo possui uma diáde de contribuições; como contribuição teórica ressalta-se o uso de metodologias para desenvolvimento de ofertas inovadoras e como práticas têm-se uma ação de extensão que promove pensamento empreendedor em diversos níveis de formação.

## 2. METODOLOGIA

Este estudo emprega uma abordagem de método misto (Venkatesh et al., 2013), empregando metodologias qualitativas (entrevistas semi-estruturadas) e quantitativas (questionário de satisfação). Além de empregar metodologias de inovação como *Lean Startup* e *Design Thinking*. A Figura 1 apresenta a sequência metodológica deste estudo.

**Figura 1 – Sequência Metodológica**



### 2.1. ESTRUTURA DO EVENTO E PREPARAÇÃO DE PALESTRAS

O evento piloto "Olhar Empreendedor: Transformando ideias em futuros negócios" surgiu do desejo de professores de compartilhar conhecimentos oriundos do empreendedorismo e inovação para estudantes de graduação com potencial interesse em tornarem-se empreendedores da comunidade interna e externa

da universidade. O foco inicial do evento foi o compartilhamento de diferentes metodologias e conhecimentos sobre o que envolve o empreendedorismo e sua aplicação, além de ter como propósito a realização do mesmo em outras universidades.

Na primeira reunião virtual do evento, ocorrida em março de 2021, com a participação de dois professores e duas bolsistas de extensão, foram definidos os objetivos, cursos, palestrantes, período de duração e aplicações das aulas/palestras ministradas que aconteceriam no decorrer do evento. Com base nisso, foram delegadas funções para cada membro da comissão organizadora, bem como, responsabilidades e atividades para a execução do evento. A divulgação teve início em abril de 2021 por meio de mídias sociais como facebook e instagram, além do site oficial (<https://engdeproducaounespar.wixsite.com/my-site>) com o regulamento/edital e horário das aulas, foram disponibilizados formulários de inscrição de projetos e equipes.

O conteúdo das aulas foi idealizado com o intuito de embasar o desenvolvimento de ofertas inovadoras e sustentáveis que se constituíssem em forma de produto, serviço, processo, Sistema Produto-Serviço (PSS), aplicativo ou software, assim possibilitando, através das metodologias aplicadas, criar um protótipo hipotético funcional. Essas metodologias abrangeram ferramentas específicas do empreendedorismo e inovação, ou seja, ferramentas viáveis para o desenvolvimento de startups com base estruturada em hipóteses geradas pelos participantes. Para a realização e consolidação dessa estrutura, técnicas como Lean Canvas, Mapa de Stakeholders, Value Proposition Canvas, Mínimo Produto Viável (MVP), criação de Survey, Mapa de Empatia, Persona, 5 porquês e Pitch foram aplicadas.

Além disso, conceitos sobre análise estatística da coleta de dados, estudo da viabilidade econômico-financeira e propriedade intelectual foram disponibilizados aos participantes. Tais técnicas têm como objetivo definir em relação aos projetos submetidos os problemas existentes e melhores soluções, os consumidores ideias que devem ser atingidos, as partes interessadas no projeto, um modelo de negócio que contenha desde partes que interessam o público-alvo até o retorno de investimento para o empreendedor, e por fim, a protótipo do projeto inscrito com a pesquisa de mercado realizada sobre o mesmo, assim sendo possível analisar de maneira qualitativa ou quantitativa o seu potencial diante uma amostra específica da sociedade, concluindo a viabilidade do projeto.

O evento teve o apoio de ministrantes de diversas áreas de pesquisa, que compõem o projeto de extensão devido à expertise referente às metodologias supracitadas. No total foram dez professores entre mestres e doutores, sendo eles engenheiros, administradores, estatísticos e arquitetos, entre outros. Estes estão ligados à universidades como: Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR); Universidade de São Paulo (USP); Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA); Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS); e, Universidade Presbiteriana Mackenzie (Mackenzie). Além disso, duas bolsistas de extensão (graduandas da UNESPAR) também ministraram durante o evento.

## **2.2. SELEÇÃO DOS PROJETOS E ORGANIZAÇÃO DE EQUIPES**

Os projetos foram selecionados a partir de um formulário online elaborado pelo Google Forms® (<https://forms.gle/WVbKnU9swANCGjFs7>), com período de submissão de 10 até 23 de abril de 2021, na qual, as informações principais consistiam no tema, justificativa e objetivo do projeto, como também em comentários adicionais sobre o objeto de pesquisa visado pelo mesmo e o seu potencial diante do mercado, ou seja, seus alvos principais no mercado consumidor. Esses tópicos serviram de base para a seleção dos projetos que pudessem ter potencial inovador, social, econômico ou ambiental. A partir da submissão dos projetos, foi disponibilizado outro instrumento de coleta realizado no Google Forms® (<https://forms.gle/wDBy8hcyAewwjrNu6>), com período de inscrição de 13 de abril até 07 de maio de 2021, referente a organização das equipes. Nesse questionário o objetivo central foi definir a posição de cada participante do evento nas equipes que se adequam aos projetos previamente submetidos. Essa identificação foi obtida com base na formação dos interessados em participar do evento, no perfil ao qual o participante se auto reconheceu (observador, devaneador, organizador, entusiasta e comunicador), e por fim, no motivo que o levou a participar do evento.

### 2.3. AVALIAÇÃO DOS NEGÓCIOS E FEEDBACK DOS PARTICIPANTES

Ao final da primeira etapa do evento, ocorrida no dia 8 de maio de 2021, foi oferecida uma palestra sobre uma exposição rápida que cada equipe deveria fazer apresentando o progresso de cada projeto. Para isto, foram realizadas duas rodadas de pitches, ambas com três minutos de apresentação, a qual foi avaliada o potencial de inovação, de escala, de mercado e da equipe. Na primeira rodada, o *pitch* parcial deveria conter o problema do projeto, solução, concorrência, cenário e evolução do projeto, além de informações futuras sobre o desenvolvimento pretendido pela equipe com o projeto. A comissão avaliadora foi composta por seis integrantes, entre eles professores da UNESPAR e convidados externos da UFRGS, UNIPAMPA, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e Universidade Estadual do Paraná (UEM).

Durante a segunda etapa do evento "Olhar Empreendedor", realizada no dia 29 de maio de 2021, houve a apresentação final dos *pitches* dos projetos inscritos no evento. Desta vez, apenas cinco equipes estiveram presentes, a sexta equipe não compareceu e foi desclassificada. Deste modo, os grupos apresentaram ao final do dia novamente um novo *pitch*, contendo todos os aspectos relevantes e importantes de cada proposta. A exposição dos projetos apresentada teve novamente duração de três minutos e foi avaliada, novamente, por seis avaliadores, sendo eles professores da UNESPAR e convidados externos da UFRGS, IFRS, e Mackenzie.

Como conclusão, foram distribuídos quatro prêmios, em primeiro lugar o projeto inovador, seguido por três outras categorias: (i) Economicamente viável, (ii) Responsabilidade social e (iii) Menor impacto ambiental. Após o evento, para avaliar a satisfação dos participantes do evento, aplicou-se um questionário estruturado preparado no *Google Forms®* (<https://forms.gle/V5hL4QeANuATqAbp9>) com o objetivo de mensurar pontos fortes, pontos fracos e pontos a melhorar para próximos eventos. Com isso, obteve-se uma amostra de 22 respondentes, calculando assim, o *Alpha* de *Cronbach* para avaliar a confiabilidade e consistência do instrumento e entendimento dos participantes (Cronbach, 1951; Brown, 2002), conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 - Alpha de Cronbach do instrumento de feedback**

Item	Alpha de Cronbach	Alpha Padrão	G6(smc)	R Médio
Todos os itens do instrumento	0,764	0.8	1	1,379

O *alpha* de *Cronbach* obtido pela aplicação do questionário de satisfação obteve o valor de 0,764, ou seja, este é superior ao valor mínimo aceitável de 0,70 (Taber, 2018). Portanto, a partir destes valores, conclui-se que os resultados são fundamentados. O *alpha* padrão é considerado o *alpha* de *Cronbach* aperfeiçoado, pois realiza a correlação de todos os fatores separadamente, desta maneira verifica-se a maior consistência dos resultados obtidos (Duhachek et al., 2005). Não obstante, ressalta-se a identificação do G6(smc), que de acordo com literatura, quanto mais próximo de um, melhor (Revelle, 2013). Por fim, o R médio representa a média das médias de todos os elementos do formulário, contendo o valor de 1,379.

Assim, verifica-se que o questionário aplicado para avaliar o feedback dos participantes foi considerado consistente e confiável.

Após a validação do instrumento, foram utilizadas estatísticas descritivas para mensurar as escolhas dos respondentes quanto à probabilidade de recomendação, qualidade do evento, nível de organização, qualidade dos organizadores e duração do evento. Além disso, empregou-se a análise de conteúdo (Elo & Kyngäs, 2008) de perguntas abertas relacionadas aos pontos fortes e fracos do evento. Não obstante, o perfil do participante foi avaliado em relação ao interesse antes e depois do evento em abrir uma empresa, nível empreendedor, se adquiriu algumas competências e habilidades, e ainda, quais dessas habilidades adquiriram. Por fim, ressalta-se a informação de universidade, curso, gênero e idade dos participantes.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção é composta por quatro seções, tais como: (i) soluções desenvolvidas e pontuações dos pitches; (ii) perfil demográfico dos participantes; (iii) perfil empreendedor; e (iv) lições aprendidas - pontos fortes e fracos.

#### 3.1. SOLUÇÕES DESENVOLVIDAS E PONTUAÇÕES DOS PITCHES

Durante a realização do evento foram criadas seis soluções que entregam valor para a sociedade, dentre elas estão: Grupo 1 - Aplicativo que trata relação do mecânico e motoristas; Grupo 2 - Bicicletas elétricas para a região portuária; Grupo 3 - Guia para ostreicultores e consumidores de ostras; Grupo 4 - Alices ergonômicas para profissionais da beleza; Grupo 5 - Aplicativo para gestão financeira; Grupo 6 - Loja física voltada à experiência do usuário sustentável. Estes grupos participaram de duas rodadas de pitches (parcial e final) com quatro métricas que possuíam notas de 1 à 10, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2** - Pontuações de grupos nos pitches parcial e final

Pitch	Potencial	Grupos					
		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
Pitch Parcial	Inovação	9,5	7,8	8,2	8,8	9,5	8,9
	Escala	7,6	9,0	7,6	8,6	8,6	8,0
	Mercado	9,0	8,8	8,0	8,4	9,2	8,8
	Equipe	8,0	7,8	8,4	8,7	9,0	8,8
Pitch Final	Inovação	9,0	7,0	0,0	8,0	9,0	9,0
	Escala	10,0	6,0	0,0	9,0	10,0	9,0
	Mercado	10,0	8,0	0,0	9,0	9,0	8,0
	Equipe	8,0	7,0	0,0	9,0	9,0	8,0
<b>Média total</b>		8,89	7,68	4,03	8,69	9,16	8,56

Contudo, ressalta-se que o Grupo 5 recebeu o prêmio de projeto inovação e os Grupos 1, 4 e 6 receberam os prêmios economicamente viáveis, responsabilidade social e menor impacto ambiental, respectivamente. Nota-se que a existência de um prêmio fez os participantes se engajarem mais no evento (Manzini & Vezzoli, 2003), além disso, é notado que o Grupo 3 não pode participar no pitch final por razões pessoais.

#### 3.2. PERFIL DEMOGRÁFICO DOS PARTICIPANTES

Para compreender o perfil dos 22 participantes do evento que compõem a amostra, mapeou-se a partir da Tabela 3 as informações coletadas no instrumento.

**Tabela 3** - Perfil demográfico da amostra

Município	Quantidade	(%)	Universidade	Quantidade	(%)
Paranaguá	19	86,40%	UNESPAR	19	86,40%
Ponta Grossa	2	9,10%	UTFPR	2	9,10%
Maringá	1	4,50%	UEM	1	4,50%
Idade (anos)	Quantidade	(%)	Gênero	Quantidade	(%)
Entre 18 e 25	17	77,30%	Masculino	10	45,40%
Entre 26 e 35	3	13,60%	Feminino	11	50%
Entre 36 e 45	1	4,50%	Prefiro não informar	1	4,50%
Acima de 45	1	4,50%			

Ressalta-se que a maioria é proveniente da UNESPAR e do município de Paranaguá, localização na qual o evento foi realizado. Ainda, conclui-se que a faixa etária da maioria dos respondentes é entre 18 e 25 anos, podendo notar que pessoas mais jovens possuem maior interesse em atividades empreendedoras (Henderson & Robertson, 2000). Por fim, ressalta-se que o gênero não foi um fator notável, por possuir estabilidade entre os participantes.

### 3.3. PERFIL EMPREENDEDOR DOS PARTICIPANTES

Dentre as questões do instrumento para avaliar o feedback dos participantes, foram levantadas informações quanto ao perfil empreendedor e interesse em criar uma startup. Na literatura, quanto ao perfil, competências e características de um empreendedor, percebeu-se uma ampla categoria de análise devido à vasta quantidade de atributos (por exemplo, Ray, 1993; Jusoh et al., 2013; Abdullah et al., 2018). Desta maneira, definiram-se a adesão das características empreendedoras com base nas competências elencadas por Dornelas (2015, p. 23-24).

Os participantes do "Olhar Empreendedor" relataram que, após o evento, adquiriram a habilidade de tomarem melhores decisões (81,9%) e, se declararam, mais dinâmicos (72,7%), ou seja, não se sentem inseguros ao lidar com adversidades e eliminam barreiras com facilidade, fator importante na área de empreendedorismo (Sandhu et al., 2011). Não obstante, 59,1% dos participantes revelaram que adquiriram novos conhecimentos no evento e se tornaram mais determinados (54,5%), logo, comprova-se que o evento é capaz de aumentar a expertise dos integrantes, além de torná-los perseverantes frente aos seus objetivos.

Os dados afirmam que 54,5% dos respondentes acreditam que são capazes de criar valor para a sociedade, estabelecendo medidas e estratégias que geram retorno positivo ambiental e social. Nota-se que parte dos participantes afirmam adquirir a competência de ser visionário (41%) ao participarem do evento, revelando que possuem uma maior visão de futuro para o negócio em que estão envolvidos (Taylor et al., 2004).

Apenas sete participantes relataram acreditar que se sentem mais independentes (31,8%), ou seja, que são capazes de assumir os riscos não calculados e calculados (31,8%). Ressalta-se que estes dados são referentes às características empreendedoras que os participantes acreditam terem conquistado após o evento, portanto, não se sabe ao certo se os participantes já possuíam essas características ou se apenas, não as alcançaram (Sousa, 2018). Entre os participantes, evidenciou-se que após o "Olhar Empreendedor", 27,3% acreditaram se tornar indivíduos mais organizados e que 22,7% desenvolveram fatores relacionados ao otimismo e a capacidade de criar um vínculo afetuoso com seus respectivos projetos.

Com relação ao interesse na criação de uma startup, 63,6% dos participantes relataram ter o desejo de montar um negócio antes do evento, e 72,7% manifestou pretender abrir uma empresa após o "Olhar Empreendedor". Logo, percebe-se que houve um aumento de 9,1% na pretensão de abrir uma empresa após o evento, confirmado o relatado por Giudici (2019) que eventos de empreendedorismo fortalecem a intenção de criação de startups.

Perante os dados levantados, é nítido que todos os participantes adquiriram novas características empreendedoras, comprovando que o evento é capaz de desenvolver o pensamento crítico e que o movimento universidade empreendedora é necessário. Contudo, todos os participantes do evento estão desenvolvendo produtos, serviços e aplicativos piloto, desta maneira, se faz necessária uma avaliação futura com estes mesmos respondentes, para verificar quais das seis equipes efetivaram seus projetos e obtiveram sucesso no empreendimento.

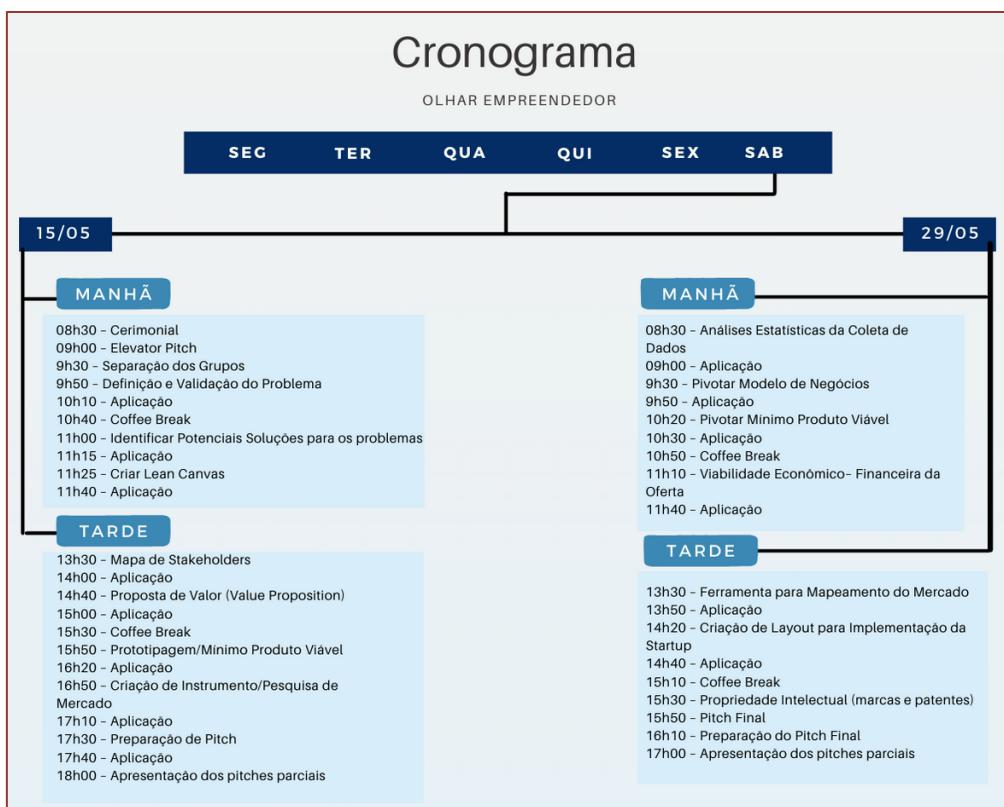
### 3.4. LIÇÕES APRENDIDAS: PONTOS FORTES E FRACOS

Quanto às questões abertas do instrumento, 13 dos 22 participantes relataram que as palestras foram de grande contribuição empreendedora, em especial, ressalta-se a fala do R13 “*Método excelente de ensino de todos os docentes e palestrantes, templates organizados e bem feitos, tudo foi incrível!*”, ressalta-se também o mencionado pelo R21 “*As palestras têm alto grau de aplicabilidade em empreendimentos inovadores e que ainda não se inseriram no mercado*”. Além de comentarem os respondentes R4, R5, R12 e R14 corroboraram que a participação de professores e palestrantes de várias áreas foi de grande valia para agregar conhecimento diverso. Ainda sobre a avaliação das palestras, os respondentes 20 dos 22 participantes manifestaram que as acharam dinâmicas, com conteúdo enriquecedor e muito claras.

Acerca dos pontos fracos do evento, 16 dos 22 participantes relataram problemas quanto à longa duração e dias do evento, por ocorrer num sábado, além de mencionarem também os respondentes R1 e R19 o curto prazo de aplicação das atividades práticas. Ainda neste contexto, os respondentes R3 e R10 expressaram descontentamento com o tempo de aplicação das metodologias, contexto pouco declarado na literatura de empreendedorismo (Raeesi et al., 2013).

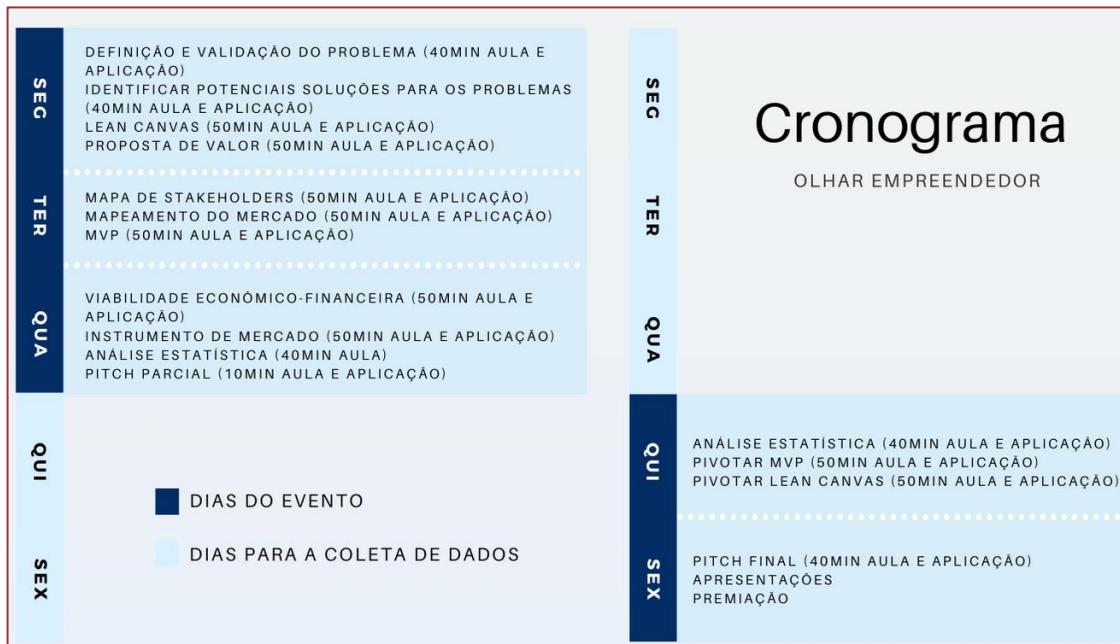
Quanto a pontos de melhorias, 14 dos 22 respondentes sugeriram a diminuição de carga horária ou distribuição do evento em mais dias, como também a ocorrência do mesmo em dias de semana, além do R4 aconselhar uma maior divulgação sobre o evento. A Figura 2 apresenta o cronograma do evento realizado que possui os problemas mencionados pelos participantes do evento.

**Figura 2 - Cronograma do evento Olhar Empreendedor**



Com as informações obtidas na pesquisa de satisfação sobre pontos fracos, fortes e possíveis melhorias, o horário e disposição das aulas e aplicações foram reavaliados. A Figura 3 apresenta a melhor forma para o desenvolvimento de uma próxima edição.

**Figura 3 - Cronograma ajustado do evento Olhar Empreendedor**



Nota-se que com as alterações propostas no evento, os mesmos possuem tempo maior para a coleta de dados e os dias de evento não possuem mais que três horas de duração. Mesmo assim, este novo cronograma atenderia aos participantes da edição piloto e suporta acadêmicos e práticos que visam a implementação de evento de empreendedorismo em empresas e universidades.

#### 4. CONCLUSÃO

Este estudo objetivou apresentar um evento piloto denominado 'Olhar Empreendedor' para disseminação de empreendedorismo e inovação em universidades paranaenses. Para isto, este estudo empírico emprega entrevistas estruturadas utilizando *alpha de cronbach* para avaliar a consistência, além de estatística descritiva e análise de conteúdo.

Como principais resultados ressalta-se o desenvolvimento de dois produtos, dois serviços e dois aplicativos voltados à resolução de problemas da sociedade e demais *stakeholders*. Como contribuição teórica ressalta-se o uso de metodologias para desenvolvimento de ofertas inovadoras e como práticas têm-se uma ação de extensão que promove pensamento empreendedor em diversos níveis de formação.

Como limitação, tem-se o tamanho da amostra limitado devido à ser um evento piloto e a falta dos participantes do grupo 3 na segunda semana. Contudo, como futuras pesquisas, sugere-se o desenvolvimento de novos estudos voltados ao empreendedorismo em universidades e empresas brasileiras para o desenvolvimento de soluções que atendam as demandas de diversos *stakeholders*.

#### REFERÊNCIAS

- [1] QUINN, James Brian. Technological innovation, entrepreneurship, and strategy. *Sloan Management Review* (pre-1986), v. 20, n. 3, p. 19, 1979.
- [2] PIÑEIRO-CHOUSA, Juan et al. Innovation, entrepreneurship and knowledge in the business scientific field: Mapping the research front. *Journal of Business Research*, v. 115, p. 475-485, 2020.

- [3] CHAKRABARTY, Arindam; NORBU, Tenzing. Innovation, Entrepreneurship and Sustainability of Business Through Techno-Social Ecosystem–Indian Scene. In: Research in Intelligent and Computing in Engineering. Springer, Singapore, 2021. p. 131-139.
- [4] KREISER, Patrick M. et al. Corporate entrepreneurship strategy: extending our knowledge boundaries through configuration theory. *Small Business Economics*, v. 56, n. 2, p. 739-758, 2021.
- [5] DI VAIO, Assunta et al. The role of digital innovation in knowledge management systems: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, v. 123, p. 220-231, 2021.
- [6] RANDHAWA, Krithika et al. Evolving a Value Chain to an Open Innovation Ecosystem: Cognitive Engagement of Stakeholders in Customizing Medical Implants. *California Management Review*, v. 63, n. 2, p. 101-134, 2021.
- [7] LEONIDOU, Erasmia et al. An integrative framework of stakeholder engagement for innovation management and entrepreneurship development. *Journal of Business Research*, 2018.
- [8] SILVA, Diego Souza et al. Lean Startup, Agile Methodologies and Customer Development for business model innovation: A systematic review and research agenda. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 2020.
- [9] DA LUZ PERALTA, Carla Beatriz et al. A framework proposition to identify customer value through lean practices. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 2020.
- [10] BUCHANAN, Richard. Wicked problems in design thinking. *Design issues*, v. 8, n. 2, p. 5-21, 1992.
- [11] RIES, Eric. *The lean startup: How today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses*. Currency, 2011.
- [12] VENKATESH, Viswanath; BROWN, Susan A.; BALA, Hillol. Bridging the qualitative-quantitative divide: Guidelines for conducting mixed methods research in information systems. *MIS quarterly*, p. 21-54, 2013.
- [13] BROWN, James Dean. The Cronbach alpha reliability estimate. *JALT Testing & Evaluation SIG Newsletter*, v. 6, n. 1, 2002.
- [14] CRONBACH, Lee J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, v. 16, n. 3, p. 297-334, 1951.
- [15] ELO, Satu; KYNGÄS, Helvi. The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, v. 62, n. 1, p. 107-115, 2008.
- [16] TABER, Keith S. The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education. *Research in Science Education*, v. 48, n. 6, p. 1273-1296, 2018.
- [17] DUHACHEK, Adam; COUGHLAN, Anne T.; IACOBUCCI, Dawn. Results on the standard error of the coefficient alpha index of reliability. *Marketing Science*, v. 24, n. 2, p. 294-301, 2005.
- [18] MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. A strategic design approach to develop sustainable product service systems: examples taken from the 'environmentally friendly innovation'Italian prize. *Journal of Cleaner Production*, v. 11, n. 8, p. 851-857, 2003.
- [19] HENDERSON, Roger; ROBERTSON, Martyn. Who wants to be an entrepreneur? Young adult attitudes to entrepreneurship as a career. *Career Development International*, v. 5, n. 6, p. 279-287, 2000.
- [20] ABDULLAH, Naziruddin; HADI, Noor Ul; DANA, Léo-Paul. The nexus between entrepreneur skills and successful business: a decomposition analysis. *International Journal of Entrepreneurship and Small Business*, v. 34, n. 2, p. 249-265, 2018.
- [21] RAY, Dennis M. Understanding the entrepreneur: entrepreneurial attributes, experience and skills. *Entrepreneurship & Regional Development*, v. 5, n. 4, p. 345-358, 1993.
- [22] JUSOH, Rosnani et al. Entrepreneur training needs analysis: Implications on the entrepreneurial skills needed for successful entrepreneurs. *International Business & Economics Research Journal (IBER)*, v. 10, n. 1, 2011.
- [23] DORNELAS, J. C. A. *Empreendedorismo corporativo: como ser empreendedor, inovar e se diferenciar na sua empresa*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.
- [24] SANDHU, Manjit Singh; SIDIQUE, Shaufique Fahmi; RIAZ, Shoaib. Entrepreneurship barriers and entrepreneurial inclination among Malaysian postgraduate students. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 2011.
- [25] TAYLOR, David W.; WALLEY, Elizabeth E. The green entrepreneur: opportunist, maverick or visionary?. *International Journal of Entrepreneurship and Small Business*, v. 1, n. 1-2, p. 56-69, 2004.
- [26] SOUSA, Maria José. Entrepreneurship skills development in higher education courses for teams leaders. *Administrative Sciences*, v. 8, n. 2, p. 18, 2018.
- [27] RAESI, Ramin et al. Understanding the interactions among the barriers to entrepreneurship using interpretive structural modeling. *International Journal of Business and Management*, v. 8, n. 13, p. 56, 2013.

# Autores

# AUTORES

## **OSVALDO SENA GUIMARÃES (ORGANIZADOR)**

Graduação em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia Kennedy (1983), Ênfase em Engenharia de Transportes EEEK (1983), Análise De Sistemas - UFMG(1985), Especialização em Gestão de Projetos de Engenharia IEC/PUC (2012), Mestrado em Estratégia FEAD (2005). Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Minas Gerais (2015-2017 Divinópolis). Professor na Faculdade Senac Minas. Atua na área de ensino superior desde 1988 como Professor, Coordenador de Curso, Coordenador de Extensão, Coordenador de Iniciação Científica e de Pré-incubadora de base Tecnológica. Atua na área de Engenharia, Computação e Projetos desde 1984.

## **ANDRÉA TERESA RICCIO BARBOSDA**

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (1993), graduação em Administração pela Universidade Católica Dom Bosco (1993), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (área de concentração engenharia biomédica) (1999), doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (área de concentração Sistemas de Informação) (2004) e pós-doutorado pelo Hospital São Vicente de Paulo (2007). Atualmente é professora associada na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Tem experiência nas áreas de Engenharia Biomédica, Eficiência Energética e Sustentabilidade, Sistemas de Informação, com ênfase em Informática Médica, atuando principalmente nos seguintes temas: sistema de informação, redes neurais artificiais, engenharia biomédica, engenharia clínica, segurança elétrica, eficiência energética e sustentabilidade. Integrante da FAENG (Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia). Ministra aulas no curso graduação em Engenharia Elétrica e Tecnólogo em Eletrotécnica Industrial. Faz parte do Programa de Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade e do Programa de Mestrado Profissional em Computação Aplicada.

## **ANDREIA CARDOSO ALVES**

Graduada em Engenharia Civil, pela UFPI, e mestrandona Construção Civil, pela UFC. Apresenta pós-graduação, em nível de especialização, em Gerenciamento de Obras e Tecnologia das Construções e em Avaliações e Perícias em Engenharia. Carreira desenvolvida, nos últimos 12 anos, nas áreas de Orçamento, Planejamento e Execução de Obras.

## **ANDRESSA KOSSMANN FERLA**

Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Santa Maria (2019). Atualmente é discente no Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental pela UFSM (2022). Tem experiência em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas.

## **BRENO MAGNO SILVA DOS SANTOS**

Graduando do 8º semestre do curso de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen. Atualmente é bolsista no Programa de Educação Tutorial (PET) do curso de Engenharia Florestal e membro voluntário do Laboratório de Estatística e Manejo Florestal (LEMFLOR).

## **CATIA FREDERICCI**

Graduação em Química pela Universidade Federal de São Carlos, mestrado e doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos. Atuação na área de P&D&I em Engenharia de Materiais e Metalúrgica. Pesquisadora e Professora do Mestrado Profissional do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT.

## **DANIEL FELIPE LIMA SOARES**

Engenheiro de Alimentos graduado na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Voluntário e Bolsista em projetos de extensão sobre aproveitamento de descartes alcoólicos para produção de

# AUTORES

álcool hidratado, Monitor de ensino da disciplina de graduação Operações Unitárias II, Autor e pesquisador do trabalho de conclusão de curso sobre utilização de mistura de uísque para produção de álcool hidratado concentrado.

## DIEGO HABIB SANTOS NOLASCO

Bacharel em Engenharia Elétrica, formado pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, Pós-graduado em Engº de Segurança do Trabalho pela Faculdade de Tecnologia e Ciência - FTC, Mestre em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia pela Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC e Doutor em Engenharia Elétrica pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Atividades profissionais atuais: Profº EBTT/IFBA - Campus de Vitória da Conquista, atuando com docência em eletrotécnica: instalações elétricas prediais e industriais, máquinas elétricas, acionamentos e comandos elétricos e análise de circuitos elétricos.

## EDUARDO LUIS SCHNEIDER

Possui Graduação em Engenharia Metalúrgica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2003), Mestrado (2005) e Doutorado (2009)em Engenharia na área de concentração: Ciência e Tecnologia dos Materiais pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais (PPGE3M) da UFRGS (2005). É Professor do Departamento de Engenharia de Materiais e professor permanente do PPGE3M. Atualmente é Coordenador da Comissão de Graduação da Engenharia de Materiais (COMGRAD) da UFRGS. Tem experiência nas áreas de: Materiais Metálicos; Seleção de Materiais; Ensaios e Caracterização de Materiais; Tratamentos Térmicos, Corrosion Resistant Alloys , CRA; Processos de Fabricação; Processos de Reciclagem de Materiais; Projeto de Produto; Ecoauditoria.

## FERNANDO HENRIQUE LERMEN

Professor Adjunto do Colegiado de Engenharia de Produção da UNESPAR - Campus Paranaguá. Doutor e Mestre em Engenharia de Produção na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Graduado em Engenharia de Produção Agroindustrial pela Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR). Pesquisador do Núcleo de Inovação e Sustentabilidade (UFRGS), Innovation Trends Through Technology Research (UNESPAR), GMPAgro - Grupo Multidisciplinar de Pesquisas Agroindustriais (UNESPAR), Life Cycle and Innovation for the Built Environment Sustainability (UFRGS), Grupo de Métodos Quantitativos Aplicados (IFRS) e Saúde & Engenharia: Pesquisa e Inovação (UNESPAR). Pesquisa atualmente nas grandes áreas de Inovação e Estratégia com as temáticas: Product-Service System, Sustentabilidade, Valor (Criação, Proposição, Trade-off e Ecossistema), Avaliação do Ciclo de Vida, Willingness-to-pay, Conjoint Analysis e Agricultura.

## FILIPE CARVALHO DE ANDRADE

Graduando em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Brasil. Membro do IEEE e do capítulo MTTS, desde de 2021 e, desde o início de 2022, atua como Tesoureiro do MTTS-IFBA-VCA. Participa ativamente como bolsista do Programa de Educação Tutorial (PET-Engenharias) desde 2020. Atua como Assessor da Coordenadoria de Projetos do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia Junior da Bahia (CreaJr). Possui interesse de pesquisa na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em áreas que envolvam o eletromagnetismo aplicado e automação industrial.

## GERALDO DANTAS SILVESTRE FILHO

Professor Associado da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), com lotação no Departamento de Engenharia de Alimentos (DEA) do Centro de Tecnologia (CT). Engenheiro Mecânico (UFPB), Mestre e Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo na área de concentração Projeto Mecânico. Defendeu Dissertação e Tese com ênfase em Mecânica dos Sólidos, Elásticos e Plásticos, especificamente nos seguintes temas: modelagem computacional de componentes mecânicos em material compósito polimérico reforçado por fibra de carbono; método dos elementos finitos;

# AUTORES

análise de falha progressiva de materiais compósitos poliméricos reforçados; projeto auxiliado por computador; filament windind; prototipagem rápida e ensaios mecânicos.

## **GUILHERME KUSLER POSSANI**

Graduado em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio grande do Sul (PUCRS). Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em inspeção de segurança de caldeiras, vasos de pressão, tanques metálicos de armazenamento e tubulações industriais (NR-13).Também tem experiência em projetos de instalação e na reconstituição de prontuários de equipamentos. Mestre em engenharia (2022) pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Materiais e Metalurgia (PPGE3M) na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). As áreas de interesse em pesquisa envolvem ciência e tecnologia dos materiais, corrosão e tratamentos de superfícies.

## **IGOR MORENO MAMEDES**

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Mato Grosso (2013). Pós-graduação : - Especialização em Gestão de Projetos. (2015 - 2017), na Universidade Católica Dom Bosco, UCDB, Brasil.- Mestrado Profissional em andamento em Eficiência Energética e Sustentabilidade (2020), na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, UFMS, Brasil. Atualmente trabalha como engenheiro eletricista da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

## **JANDERLEI VELASQUE DAL OSTO**

Técnico em Geoprocessamento pelo Colégio Politécnico da UFSM, graduado em Geografia Bacharelado pela Universidade Federal de Santa Maria, Mestre em Geografia pelo Programa de pós-graduação em geografia da Universidade Federal de Santa Maria (PPG GEO-UFSM), atualmente é aluno de doutorado do mesmo programa. Tem experiência na área de geociências, com estudos focados nos seguintes temas: Geoprocessamento, uso e cobertura da terra, análise de variáveis limnológicas, bacias hidrográficas e sensoriamento remoto.

## **JOÃO BOSCO CAVALCANTE DA SILVA SEGUNDO**

Graduando no curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Voluntário do projeto de extensão “Aproveitamento do descarte de bebidas alcoólicas e perfumes fornecidos pela Receita Federal (IRF/PE) para a produção de materiais de higiene e limpeza” exercendo atividades experimentais e de tratamento de dados no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) do Departamento de Engenharia de Alimentos, Monitor de ensino da disciplina de graduação Termodinâmica Aplicada.

## **JOSELMA ARAÚJO DE AMORIM**

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal da Paraíba (2005), Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2007) e Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2012). Atualmente é Professora Adjunta no Departamento de Engenharia Alimentos da UFPB, Campus I, ministrando disciplinas na área de transferência de calor e massa. Tem experiência na área de Transferência de Calor e massa, atuando principalmente nos seguintes temas: Desumidificação por adsorção, secagem de alimentos, refrigeração, bomba de calor, análise térmica (TG, DSC e DTA) aplicada a alimentos, modelagem matemática e simulação numérica computacional, utilizando o método dos volumes finitos.

## **JOSEVAN DA SILVA**

Engenheiro de Alimentos, Mestre e Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), experiência na área de química de alimentos com ênfase em produtos de origem animal e obtenção de biocompostos utilizando leveduras oleaginosas e resíduos como substratos. Atualmente é Técnico em Alimentos e Laticínios, atuando no Laboratório de Engenharia

# AUTORES

de Alimentos (LEA), no Departamento de Engenharia de Alimentos (DEA), no Centro de Tecnologia (CT), Campus I da Universidade Federal da Paraíba e Professor Substituto no Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial (DGTA), do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias (CCHSA), Campus III, da Universidade Federal da Paraíba.

## **KEIVISON ALMEIDA MONTEIRO**

Possui graduação em Engenharia Civil pelo Instituto Federal da Bahia – IFBA, campus Vitória da Conquista (2021), especialização em Engenharia de Produção pela Faculdade Única de Ipatinga - FUNIP (2022) e mestrando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa. Tem experiência na área de Engenharia de Processos e Sanitária e Ambiental, desenvolvendo pesquisas principalmente nos seguintes temas: síntese e caracterização de bioadsorventes; toxicidade aquática e remoção de atividade biológica de águas residuárias. Publicou artigos/trabalhos em periódicos especializados e eventos na área.

## **KELLY CRISTINA POTTRATZ NORONHA**

Graduanda do 8º semestre do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, bolsista do Programa de Educação Tutorial – PET Engenharia Florestal e membra voluntária do laboratório de Geoprocessamento e sensoriamento remoto (LGSR).

## **LEONARDO SOUZA CAIRES**

Possui Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Possui graduação em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, campus de Vitória da Conquista, onde também concluiu o curso Técnico Profissionalizante em Eletromecânica. Trabalha no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - IFBA, como professor do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico - EBTT, ministrando disciplinas nos cursos de Engenharia Elétrica e no curso Técnico em Eletromecânica. Tem interesse nas seguintes áreas de conhecimento: Acionamentos Elétricos, Qualidade de Energia Elétrica, Eletrônica de Potência e Técnicas de Controle e Filtragem passiva e ativa.

## **LISETE CRISTINE SCIENZA**

Engenharia Química pela PUCRS (1987), mestre em Engenharia-Ciência dos Materiais pela UFRGS (1991) e PhD em Corrosão pela University of Manchester Institute of Science and Technology-UK (1999). Foi professora da UCS entre 1992 e 2013. É professora Adjunto no Departamento de Engenharia de Materiais da UFRGS desde 2014, coordenou o curso de Engenharia de Materiais no período 2018/20, e professora colaboradora do PPGE3M-UFRGS. Suas linhas de pesquisa envolvem materiais e processos compatíveis com o meio ambiente abrangendo: corrosão, inibidores, tratamentos de superfícies, revestimentos (metálicos, orgânicos e de conversão química), revestimentos nanocerâmicos, polímeros condutores, compósitos e nanocompósitos poliméricos, reuso e reciclagem de materiais poliméricos .

## **LUCAS MAURICIO WILLECKER DOS SANTOS**

Mestre em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Especialista em Gestão e Organização Escolar pela Universidade do Norte do Paraná (UNOPAR). Graduado no curso de Geografia Licenciatura pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Desenvolve estudos e pesquisas nas áreas de Educação em Geografia, Meio Ambiente, Planejamento e Desenvolvimento Regional e Territorial.

## **LUCIANA BAGDEVE DE OLIVEIRA DOS SANTOS**

Possui graduação em Bacharelado em Química pela Universidade Federal da Bahia (2000) e doutorado em Química (Química Analítica) [Sp-Capital] pela Universidade de São Paulo (2006). De maio de 2006 a março de 2008 desenvolveu projeto de pós-doutoramento na Universidade de São

# AUTORES

Paulo com bolsa FAPESP. Atualmente é professora Titular da Universidade Estadual de Feira de Santana, onde atua como coordenadora do curso de Licenciatura em Química desde 2021 e também durante o processo de reconhecimento do curso (2014 a 2018). Tem experiência na área de Química, com ênfase em Eletroanalítica, atuando principalmente nos seguintes temas: Pesticidas e metais, voltametria de onda quadrada, análise por injeção sequencial, cromatografia por injeção sequencial, fluxo contínuo e estudos de adsorção de poluentes com solos e argilominerais

## **LUDMILA MACHADO RODRIGUES**

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal (2009). Pós-graduação : - MBA em Gestão de Projetos. (2010 - 2011), na Universidade Anhanguera - Uniderp, UNIDERP, Brasil.- MBA em Projeto, Execução e Controle de Estruturas & Fundação. (2012 - 2014), no Instituto de Pós-Graduação e Graduação, IPOG, Brasil. Atualmente é Engenheira Civil da Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia Hidráulica. Mestranda no Programa de Eficiência Energética e Sustentabilidade da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

## **LUIZA MARIA CERQUEIRA SILVA**

Bacharel em Química pela Universidade Federal da Bahia. Mestranda em Química Inorgânica pela Universidade Federal da Bahia. Atualmente, é professora substituta de Química no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, campus Catu. Tem experiência na área de Química Inorgânica e Eletroquímica, atuando principalmente nos seguintes temas: eletrodos compósitos, MnO<sub>2</sub>, capacitores eletroquímicos, polímeros condutores, energia.

## **MARIA CECÍLIA FERRARI DE CARVALHO TEIXEIRA**

Graduanda em Engenharia de Produção com ênfase em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR

## **MIKELLY BONFIM ANJOS**

Graduada em Gestão Empresarial pela Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC) - campus Sertãozinho e Graduanda em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia da Bahia (IFBA) - campus Vitória da Conquista. É membro do Programa de Educação Tutorial - PET Engenharias, onde desenvolve atividades relacionadas ao ensino, pesquisa e extensão, da Empresa Junior de Engenharia Elétrica (EJEEL) atuando no setor comercial e do Diretório Acadêmico de Engenharia Elétrica, onde atua na coordenação financeira.

## **MYLENA JUNQUEIRA PINTO BRITO**

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (2013), especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade de Tecnologia e Ciências (2015), mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (2016) e doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (2020). Tem experiência na área de Engenharia de Processos, desenvolvendo pesquisas principalmente nos seguintes temas: síntese e caracterização de carvões ativados; imobilização de enzimas, processos de separação, catálise ambiental e biocatálise. Publicou artigos/trabalhos em periódicos especializados e eventos na área.

## **NATHALYA ALBINA DA SILVA PEREIRA**

Graduanda em Engenharia de Produção com ênfase em Engenharia de Produção pela Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR

# AUTORES

## PATRÍCIA SANTOS AMARAL

Possui curso Técnico em Edificações pelo Instituto Federal da Bahia - IFBA (2015), Campus Brumado e Graduada em Engenharia Civil - IFBA campus Vitória da Conquista

## PIERRE CORREA MARTINS

Possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande (1998), Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande (2002) e Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2006). Tem experiência em docência na área de Engenharia de Processos, com ênfase em Engenharia de Alimentos. Atua como professor na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), lotado no Departamento de Engenharia de Alimentos do Centro de Tecnologia. Coordenador do projeto e do acordo de cooperação técnica entre a Superintendência Regional da Receita Federal do Brasil na 4<sup>a</sup> RF (SRRF04) e a UFPB sobre aproveitamento de descartes alcoólicos para produção de álcool hidratado.

## PRICÍLIA SANTOS PEREIRA GOMES

Mestra (2022) e doutoranda em Química (Química Analítica) na Universidade Federal de Sergipe (UFS) (atual), Licenciada em Química pela Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS) e Técnica em Biocombustíveis pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA). Atua com síntese de biofertilizantes, na Química Analítica e Ambiental. Tem experiência com o desenvolvimento de metodologias para determinar pesticidas usando Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC-DAD e HPLC/MS). Atuou como Bolsista IC da FAPESB e CNPq (2017-2020), Estagiária em Laboratórios Didáticos de Biologia na UEFS (2019-2020) e Bolsista PETROBRÁS (2012-2014).

## RAFAEL DE PAULA LACERDA PIO

Graduando em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) - campus Vitória da Conquista. Trabalha há 4 anos no setor administrativo e fiscal de uma distribuidora de embalagens e há 2 anos é estagiário, desenvolvendo atualmente a função de gerente de obras em uma empresa de engenharia e fontes renováveis, na qual desenvolveu experiência em instalações elétricas residências e industriais, dimensionamento e instalações de sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid.

## ROSELIS NATALINA MAZZUCHETTI

Pós-doutora em Administração pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Doutora em Desenvolvimento Regional e Agronegócio pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2014), Doutora em Ciências Empresariales - Universidad del Museo Social Argentino (2006), Mestre em Desenvolvimento Regional e Agronegócio pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2007) e Mestre profissional em Gestão Agroindustrial pela Universidade Paranaense (2001). Tem especialização em Gestão Agroindustrial, Marketing, Recursos Humanos e docência em ensino superior. Graduada em Administração, Ciências Contábeis e Teologia. É professora adjunta da Universidade Estadual do Paraná - Campus de Paranaguá. Coordenadora de projetos de pesquisa, de extensão e do Núcleo de Inovação Tecnológica da UNESPAR. Tem experiência como docente na graduação e pós graduação, como consultora, Analista e Gestora, atuando em diversas empresas. Principais temas estudados: Comércio internacional, Produção, Inovação e Qualidade. Atua ainda como consultoria, Conselheira do CRA-PR, Vice-presidente do CRA-PR (2021/2022)

## RUBENS RODRIGUES DE SOUSA

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Mackenzie, Bacharel em Administração de Empresa pela Universidade Mackenzie, Mestre em Processos Industriais pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT. Pós graduado em Executive Master of Business Administration, pela Faculdade Armando Alvares Penteado – FAAP e pela Kogod School of Business,

# AUTORES

American University – Washington DC. Atualmente é Engenheiro Sênior de Manufatura da empresa General Motors da América do Sul (GMSA) onde além do desenvolvimento atua na modernização dos veículos industriais existentes exercendo o gerenciamento, acompanhamento, implementação de novos projetos e treinamento para outros engenheiros e técnicos de áreas diretas e também de áreas correlacionadas.

## **SAMUEL CARVALHO DE AZEVEDO MARQUES**

Doutorando em Gestão e Tecnologia Industrial. Possui graduado em Administração, Especialização em Gestão de Recursos Humanos nas Organizações e Mestrado em Ecologia Humana e Gestão Socioambiental. Bolsista da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia, FAPESB, Brasil.

## **VICTOR SALVINO BORGES**

Formado em engenharia elétrica e mestre em engenharia elétrica pela Universidade Federal do Paraná, possui pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho. Atuação por mais de 10 anos em P&D voltado para o desenvolvimento de novas ferramentas e melhoria de processos relacionados a manutenção em linha viva.

## **VINÍCIUS DA FONSECA SANTOS**

Graduando em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) e membro da Empresa Júnior de Engenharia Elétrica (EJEEL) desde 2020, atuou como bolsista em outros projetos de extensão. Devido a vasta carga horária cumprida no curso, acumulou experiência com softwares de simulação em circuitos eletrônicos, eletropneumáticos, modelagem computacional matemática e dentre outros. Edificou conhecimentos obtidos em minicursos e palestras dispostos nos eventos do campus e como futuro engenheiro pretende seguir carreira no ramo de eletrotécnica, além de automação e controle.

## **WDSON COSTA SANTOS**

Licenciado em Química pela Universidade do Estado da Bahia - UNEB (2009), Mestre em Química Analítica pela Universidade Federal da Bahia - UFBA (2012) e Professor de Química do Instituto Federal da Bahia - IFBA, campus Vitória da Conquista (desde 2010), onde coordenou o curso de Licenciatura em Química (06/2011 a 03/2014), foi coordenador de área do subprojeto do PIBID/CAPES (de 2012 a 2019) e desenvolve pesquisas na área de Ensino de Química e Química Analítica

[www.poisson.com.br](http://www.poisson.com.br)  
[contato@poisson.com.br](mailto:contato@poisson.com.br)

@editorapoisson



<https://www.facebook.com/editorapoisson>

