

# Engenharias, Ciência e Tecnologia 2

**Luís Fernando Paulista Cotian  
(Organizador)**



**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Luís Fernando Paulista Cotian**

(Organizador)

# **Engenharias, Ciência e Tecnologia**

## **2**

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 2 [recurso eletrônico] / Organizador  
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena  
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-085-8

DOI 10.22533/at.ed.858193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.  
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

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

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos  
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume II apresenta, em seus 15 capítulos, conhecimentos relacionados a Gestão de Resíduos relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Gestão de Recursos Naturais, Produção mais Limpa e Ecoeficiência e Gestão de Resíduos Industriais e Prevenção de Poluição.

As áreas temáticas de Gestão de Resíduos relacionadas tratam de temas relevantes para a prevenção de poluição. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Gestão de Resíduos e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO COM CARVÃO VEGETAL PARA A PURIFICAÇÃO DE BODIESEL OBTIDO A PARTIR DE ÓLEOS DE MILHO	
<i>Maria Carolina Sérgi Gomes</i>	
<i>Juliana Guerra Sgorlon</i>	
<i>Maraísa Lopes de Menezes</i>	
<i>Vassula Belinato Paiva</i>	
<i>Fernanda Nunes de Proença</i>	
<i>Mariane Borges Gheller</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8581931011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
AVALIAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO BAGAÇO DE MALTE SOBRE A ADSORÇÃO DO CORANTE DE AZUL DE METILENO UTILIZANDO COLUNA DE LEITO FIXO	
<i>Jordana Benfíca Silva</i>	
<i>Heitor Otacílio Nogueira Altino</i>	
<i>Renata Nepomuceno da Cunha</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8581931012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>18</b>
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE PARTICULADO NA QUEDA DE PRESSÃO DE UM CICLONE LAPPLE	
<i>Rosilanny Soares Carvalho</i>	
<i>Daiane Ribeiro Dias</i>	
<i>João Carlos Gonçalves</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8581931013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>30</b>
AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS: SEDIM 2.0	
<i>Roberta de Almeida Costa Campeão</i>	
<i>Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8581931014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>38</b>
AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE UM CICLONE ADAPTADO COM BOCAIS ATOMIZADORES DE ÁGUA PARA COLETAR MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR	
<i>Ana Elisa Achilles</i>	
<i>Vádila Giovana Guerra Béttega</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8581931015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>55</b>
DESEMPENHO DE FILTRO TIPO BOLSA PARA SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DE HERBICIDAS	
<i>Daniela Teixeira Chaves</i>	
<i>José Roberto Delalibera Finzer</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8581931016</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 71**

DISTRIBUIÇÃO DE CHUMBO TOTAL EM AMOSTRAS DE SEDIMENTOS E SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EXTRAÍDAS DE SEDIMENTOS COLETADOS EM MANANCIAIS COM DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA DA BACIA AMAZÔNICA

*Tania Machado da Silva*  
*Bruno Cesar Prior Rocha*  
*Wilyane Silva Figueiredo*  
*Luiz Fabrício Zara*  
*Gustavo Rocha de Castro*  
*André Henrique Rosa*

**DOI 10.22533/at.ed.8581931017**

**CAPÍTULO 8 ..... 87**

ESTUDO DAS CONDIÇÕES PARA A SÍNTESE DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE ABACATE E PEROVSKITA RESIDUAL ( $Ca_2Fe_2O_5$ )

*Rondinele Aberto dos Reis Ferreira*  
*Juarez Hilleshein Júnior*  
*Priscila Pereira Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.8581931018**

**CAPÍTULO 9 ..... 102**

ESTUDO DE CASO EM OBRA NA CIDADE DE MACEIÓ: PROPOSTA PARA MELHORIA NO DESTINO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

*Kelliany Medeiros Costa*  
*José Leandro da Silva Duarte*  
*Carmem Lúcia de Paiva e Silva Zanta*

**DOI 10.22533/at.ed.8581931019**

**CAPÍTULO 10 ..... 112**

COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO APLICADOS EM EMULSÕES A/O MONODIPERSAS

*Lucas Henrique Pagoto Deoclecio*  
*Ana Paula Meneguelo*  
*Daniel Cunha Ribeiro*

**DOI 10.22533/at.ed.85819310110**

**CAPÍTULO 11 ..... 128**

POTÊNCIA NECESSÁRIA AO RALEAMENTO DA VEGETAÇÃO NO SEMIÁRIDO

*Márcio Waltzer Timm*  
*Antônio Lilles Tavares Machado*  
*Roberto Lilles Tavares Machado*  
*Rafael Gonçalves Tonucci*

**DOI 10.22533/at.ed.85819310111**

**CAPÍTULO 12 ..... 137**

SANEAMENTO: EVOLUÇÃO DAS OBRAS DE INFRAESTRUTURA E MELHORIA DA QUALIDADE DE VIDA DO BAIRRO PARAVIANA EM BOA VISTA/RR

*Francilene Cardoso Alves Fortes*  
*Emerson Lopes de Amorim*  
*Iury Costa Aragão*  
*Thiago Barreto Tavares*  
*Cleiton Leandro Santana*  
*Maikon Barros de Lima*

**DOI 10.22533/at.ed.85819310112**

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>152</b>
SANEAMENTO: IMPLICAÇÕES E EXECUÇÕES NAS OBRAS DE SANEAMENTO BÁSICO NO BAIRRO CINTURÃO VERDE NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA/RR	
<i>Francilene Cardoso Alves Fortes</i>	
<i>Emerson Lopes de Amorim</i>	
<i>Simone Vieira Vaz</i>	
<i>Geislani da Luz Araujo</i>	
<i>Numeriano Dantas de Medeiros</i>	
<i>Fabio Rodrigues de Jesus</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85819310113</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>166</b>
SINTONIA ÓTIMA DO CONTROLADOR PID APLICADO AO CONVERSOR CC-CC BUCK	
<i>Rhonei Patric dos Santos</i>	
<i>Lucas Sampaio Garcia</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85819310114</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>178</b>
APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO CAROÇO DE AZEITONA PARA A PRODUÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO	
<i>Luíza Silveira Cabral</i>	
<i>Manoela Silva Lima Mariotini Carotta</i>	
<i>Érica Vieira Barbosa</i>	
<i>Juliana Fusco Pachani dos Santos</i>	
<i>Ana Carla Pinheiro Lima</i>	
<i>Cristiane de Souza Siqueira Pereira</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.85819310115</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>189</b>

## AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO COM CARVÃO VEGETAL PARA A PURIFICAÇÃO DE BIODIESEL OBTIDO A PARTIR DE ÓLEOS DE MILHO

### **Maria Carolina Sérgio Gomes**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Coordenação do Curso de Engenharia Química  
Apucarana - PR

### **Juliana Guerra Sgorlon**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Coordenação do Curso de Engenharia Química  
Apucarana - PR

### **Maraísa Lopes de Menezes**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Coordenação do Curso de Engenharia Química  
Apucarana - PR

### **Vassula Belinato Paiva**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Coordenação do Curso de Engenharia Química  
Apucarana - PR

### **Fernanda Nunes de Proença**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Coordenação do Curso de Engenharia Química  
Apucarana - PR

### **Mariane Borges Gheller**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná,  
Coordenação do Curso de Engenharia Química  
Apucarana - PR

**RESUMO:** O biodiesel é um combustível biodegradável, obtido pela reação de transesterificação ou esterificação de óleos vegetais. Após a reação, os ésteres produzidos devem ser submetidos a etapas de purificação

para a remoção de glicerol livre e outros contaminantes. Os processos comumente utilizados na etapa de purificação utilizam lavagens com água e resultam na geração de grandes quantidades de efluentes, que devem ser tratados e eliminados. No presente trabalho, o biodiesel foi produzido por transesterificação etílica de óleos de milho neutro e refinado por meio de catálise alcalina. Foi avaliada a eficiência da purificação do biodiesel por adsorção utilizando carvão vegetal em comparação com as lavagens aquosas. Os experimentos foram realizados em batelada e os resultados obtidos demonstraram que o carvão vegetal pode ser utilizado na purificação do biodiesel, uma vez que, nas duas temperaturas avaliadas, foi possível obter um teor de glicerol no biodiesel de óleo refinado dentro da especificação utilizando a concentração de adsorvente de 50 g/L.

**ABSTRACT:** Biodiesel is a biodegradable fuel produced by the transesterification or esterification reaction of vegetable oils. After the reaction, the esters must undergo purification steps for the removal of free glycerol and other contaminants. The processes commonly used in this purification step use water washes and result in the generation of large quantities of effluents, which must be treated and eliminated. In the present work, biodiesel was produced by ethyl transesterification of neutral and refined

corn oils using alkaline catalysis. It was evaluated the efficiency of biodiesel purification by adsorption using charcoal compared with aqueous washes. The experiments were performed in batch and the results showed that charcoal can be used in the biodiesel purification, since at the two temperatures evaluated, it was possible to obtain biodiesel with a glycerol content within the specification, using the concentration of adsorbent of 50 g / L.

## 1 | INTRODUÇÃO

O biodiesel é um combustível alternativo constituído de uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir de óleos vegetais, gordura animal, óleos e gorduras residuais e é miscível com o diesel de petróleo em qualquer proporção. O método mais comum de produção de biodiesel é a reação de transesterificação, em que os triacilgliceróis presentes nos óleos e gorduras reagem com um álcool na presença de um catalisador para produzir os ésteres alquílicos correspondentes e glicerol como co-produto (Knothe *et al.*, 2006).

Após a transesterificação, a mistura final é composta principalmente por ésteres alquílicos de ácidos graxos, além de álcool residual, glicerol, catalisador, mono, di e triglicerídeos. Estes e outros contaminantes presentes no biodiesel podem causar problemas operacionais e ambientais e devem ser separados para que os ésteres possam ser utilizados como combustível (Van Gerpen *et al.*, 2005).

A etapa de separação do glicerol é muito importante para que se obtenha um produto de qualidade, livre de impurezas e que não apresente riscos de corrosão aos motores. De acordo com a especificação, o limite máximo permitido de glicerol no biodiesel é de 0,02% (ANP, 2008). Um alto teor de glicerol livre pode resultar na formação de duas fases, causando problemas durante o armazenamento e no sistema de injeção de combustível. O glicerol livre é associado, também, com depósitos no fundo dos tanques de combustível atraindo outros contaminantes, como a água, aumentando, assim, a corrosão do motor e diminuindo a sua vida útil. Além disso, a queima do glicerol a partir de 180 °C junto com o biodiesel pode causar a emissão de acroleína, uma substância altamente tóxica para o ambiente (Çetinkaya e Karaosmanoglu, 2004; Monteiro *et al.*, 2008).

Após a etapa de separação do glicerol, usualmente realizada por decantação ou centrifugação, são necessárias etapas posteriores de purificação dos ésteres. Os processos convencionais utilizam um grande volume de água, que varia de acordo com as impurezas presentes e proporciona a geração de uma grande quantidade de efluente que deve ser corretamente disposto (Atadashi *et al.*, 2011).

Como alternativa, podem ser utilizados métodos de purificação por via seca, como a adsorção. Além da redução de efluentes, este método de purificação possibilita o aumento da qualidade do biocombustível e a redução do tempo de produção. Atualmente, há adsorventes específicos comercializados para purificação de biodiesel

como: carvão ativado, silicato de cálcio, fosfato de magnésio, Magnesol® e as resinas Purolite® PD206 e Amberlite® BD10 Dry (Atadashi et al., 2011).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do carvão de casca de coco como adsorvente para a purificação do biodiesel determinando a melhor condição de processo por meio das curvas cinéticas e do teor de glicerol em função da concentração de adsorvente.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### Produção do biodiesel

Para a produção do biodiesel, foram utilizados óleo de milho neutro (densidade 0,915 g.cm<sup>-3</sup> e índice de acidez 1,359 mgKOH.g<sup>-1</sup> amostra) fornecido pela empresa Caramuru (Apucarana, Paraná) e óleo de milho refinado comercial (densidade 0,914 g.cm<sup>-3</sup> e índice de acidez 0,395 mgKOH.g<sup>-1</sup> amostra). As características dos óleos foram determinadas de acordo com a metodologia oficial da AOCS. O biodiesel foi produzido por transesterificação etílica dos óleos, utilizando a razão molar óleo: álcool de 1:7,5 e 1% de NaOH em relação à massa de óleo. Após uma hora de reação na temperatura 45°C, a mistura reacional foi submetida a um evaporador rotativo sob vácuo de 600 mmHg em 65°C para a recuperação do etanol. Após a evaporação do álcool, a mistura foi transferida para um funil de decantação para a separação das fases.

### Purificação do biodiesel

Para a adsorção, foi utilizado o carvão vegetal de casca de coco com granulometria de 20/40 (MESH). As características do adsorvente foram determinadas a partir dos métodos de Brunauer-Emmet-Teller (BET) e Barrett-Joyner-Halenda (BJH) tendo como resultados uma área superficial específica de 712,4 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>, volume de poro de 0,0404 cm<sup>3</sup>.g<sup>-1</sup> e raio do poro de 20,83 Å.

A fase mais leve, contendo os ésteres, foi utilizada nos experimentos de adsorção. Em todos os experimentos, os teores inicial e final de glicerol foram determinados por meio de uma metodologia modificada, baseada no método oficial da AOCS para análise de glicerol livre em óleos e gorduras (Ca 14-56) (Pisarello et al., 2010).

### Cinéticas de adsorção

A estimativa do tempo necessário para que a concentração de glicerol no adsorvente atingisse o equilíbrio em relação ao sobrenadante foi realizada por meio de cinéticas de adsorção. Os ensaios foram realizados em batelada utilizando uma incubadora shaker em temperaturas de 25°C e 40°C.

Foram adicionados 2,0 g de adsorvente em erlenmeyers de 250 mL contendo 50 mL de biodiesel e deixados sob agitação de 150 rpm por tempos pré-determinados (1, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240 e 300 minutos). Após cada um dos períodos de tempo, o erlenmeyer correspondente foi retirado e seu conteúdo foi submetido ao processo de filtração a vácuo, para separar o biodiesel do adsorvente.

### Teor de glicerol em função da concentração de adsorvente

A capacidade adsortiva do adsorvente foi estudada com o intuito de determinar a massa ideal a ser utilizada para obter um desempenho máximo na purificação do biodiesel. Estes experimentos também foram realizados em batelada, em incubadora shaker, nas temperaturas de 25 °C e 40 °C.

Nesta etapa, o adsorvente foi adicionado nas concentrações de 5, 10, 20, 50, 100, 150, 200, 300 e 500 g.L<sup>-1</sup> em erlenmeyers de 250mL contendo 50 mL de biodiesel e deixados sob agitação de 150 rpm durante o período de 180 minutos. Posteriormente, o biodiesel foi separado do adsorvente por filtração a vácuo e o teor de glicerol nas amostras foi determinado.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Cinéticas de adsorção em batelada

A Figura 1 apresenta as curvas cinéticas de adsorção do glicerol presente no biodiesel etílico produzido a partir do óleo de milho neutro. Os resultados de remoção de glicerol do biodiesel em função do tempo de adsorção são mostrados na Figura 2. Em todas as amostras, a concentração de adsorvente foi de 40 g.L<sup>-1</sup>.

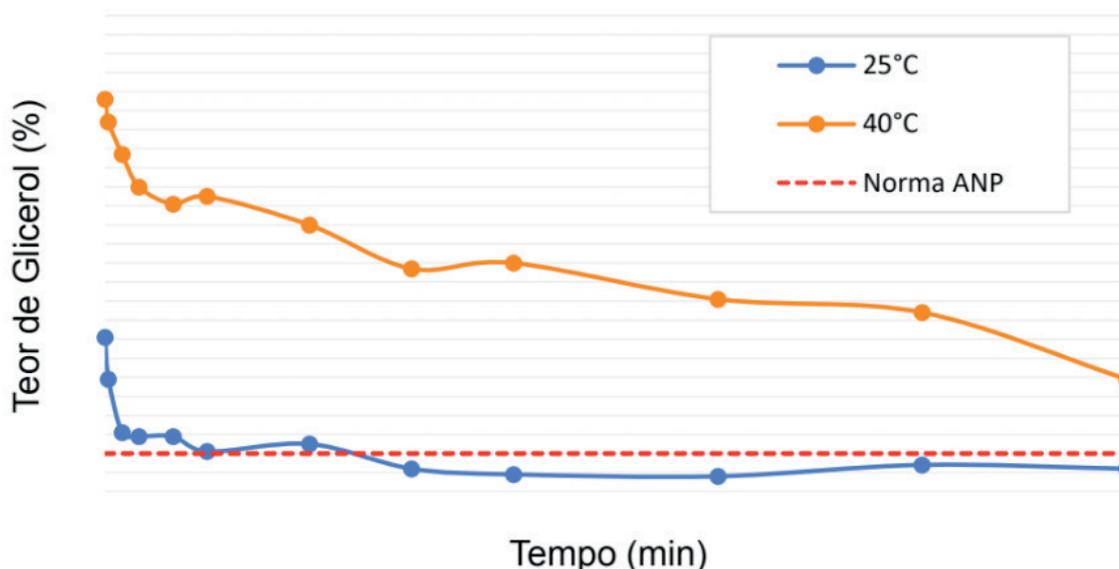


Figura 1. Curvas cinéticas de adsorção do glicerol presente no biodiesel de óleo de milho neutro, em carvão vegetal.

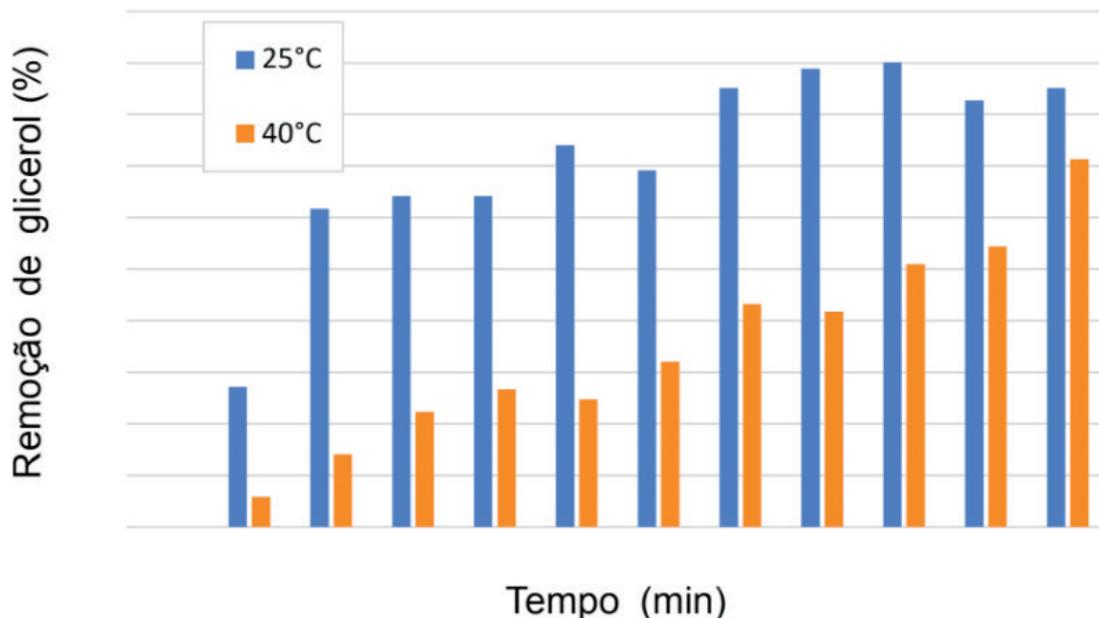


Figura 2. Remoção do glicerol presente no biodiesel de óleo de milho neutro

Para as duas temperaturas avaliadas, a remoção de glicerol aumentou com o aumento do tempo de contato. Os resultados indicam que o aumento da temperatura de 25 °C para 40 °C proporcionou uma redução da capacidade de adsorção do glicerol no carvão vegetal. O aumento da temperatura proporciona a redução da viscosidade do biodiesel e, conseqüentemente, a redução da resistência à transferência de massa, favorecendo a adsorção. No entanto, esta redução da viscosidade pode ter favorecido a adsorção de outras substâncias presentes no biodiesel, como os sabões provenientes de reações paralelas de saponificação devido à acidez mais elevada do óleo de milho neutro. Provavelmente, a adsorção destas substâncias prejudicou a adsorção do glicerol, reduzindo sua remoção com o aumento da temperatura. Em 25 °C, uma remoção de glicerol elevada foi observada durante todo o tempo de experimento, de modo que 70% de remoção foi alcançada após 30 minutos de contato. É importante destacar que a partir de 90 minutos de contato, o teor de glicerol no biodiesel já era menor do que o máximo valor especificado pela legislação (0,02 %) e o equilíbrio foi atingido após 120 minutos.

Os resultados obtidos para os ensaios cinéticos utilizando o biodiesel produzido a partir do óleo de milho refinado são apresentados nas Figuras 3 e 4 abaixo.

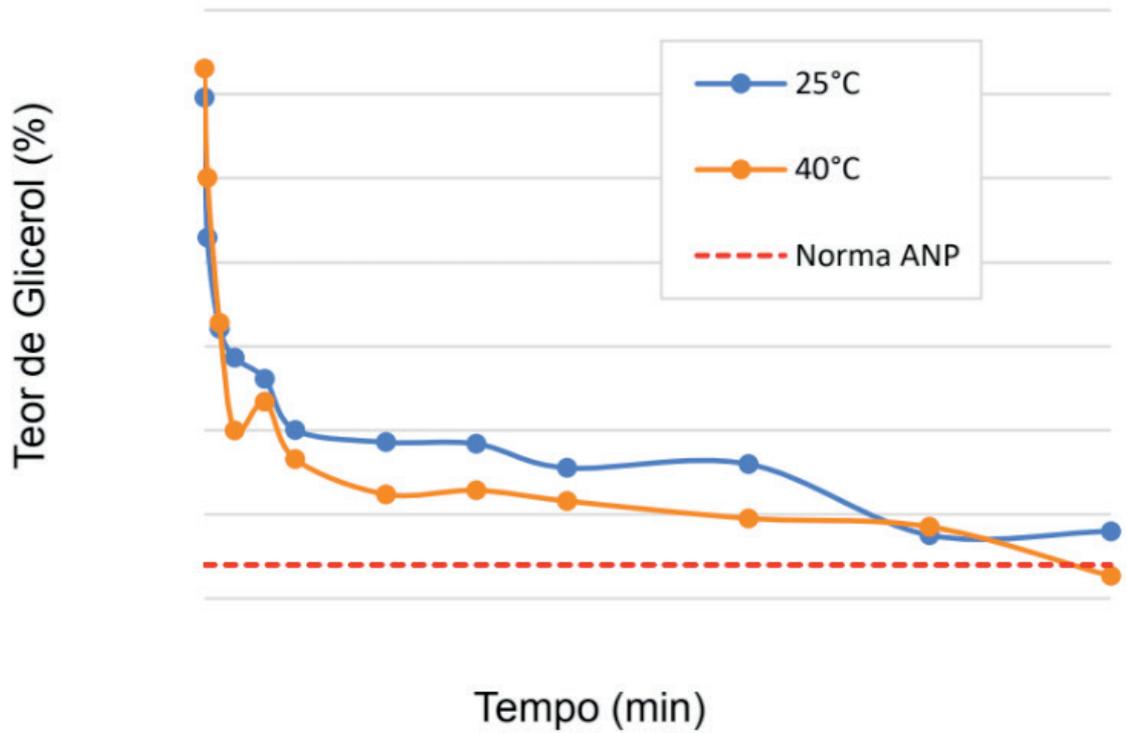


Figura 3. Curvas cinéticas de adsorção do glicerol presente no biodiesel de óleo de milho refinado, em carvão vegetal.

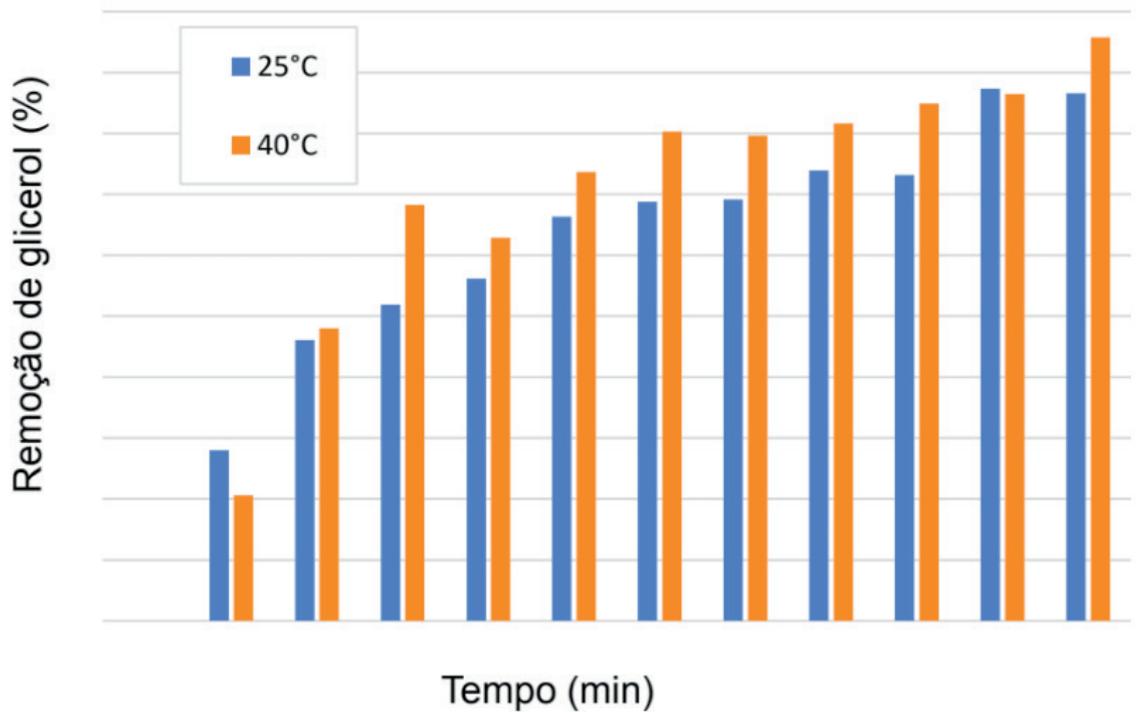


Figura 4. Remoção do glicerol presente no biodiesel de óleo de milho refinado

O mesmo comportamento de aumento de remoção de glicerol ao longo do tempo foi observado na purificação do biodiesel de óleo de milho refinado, para as duas temperaturas avaliadas. No entanto, diferentemente do biodiesel de óleo de milho neutro, o aumento da temperatura favoreceu a adsorção do glicerol no carvão, concordando

com o fato deste biodiesel apresentar uma menor quantidade de substâncias, além do glicerol, que também pudessem ser adsorvidas. Apesar dos valores elevados de remoção desde o início do processo, o teor de glicerol só ficou abaixo de 0,02 % no maior tempo avaliado, 300 minutos, na temperatura de 40 °C. Provavelmente, a quantidade de adsorvente foi baixa em relação à concentração elevada de glicerol no biodiesel inicial, ocorrendo a saturação antes do fim do processo. O tempo de equilíbrio, para as duas temperaturas, foi atingido em torno de uma hora de contato.

### Avaliação do teor de glicerol em função da concentração de adsorvente

Nas Figuras 5 e 6 são apresentados os resultados das curvas de adsorção do glicerol do biodiesel de óleo de milho neutro e do biodiesel de óleo de milho refinado, respectivamente.

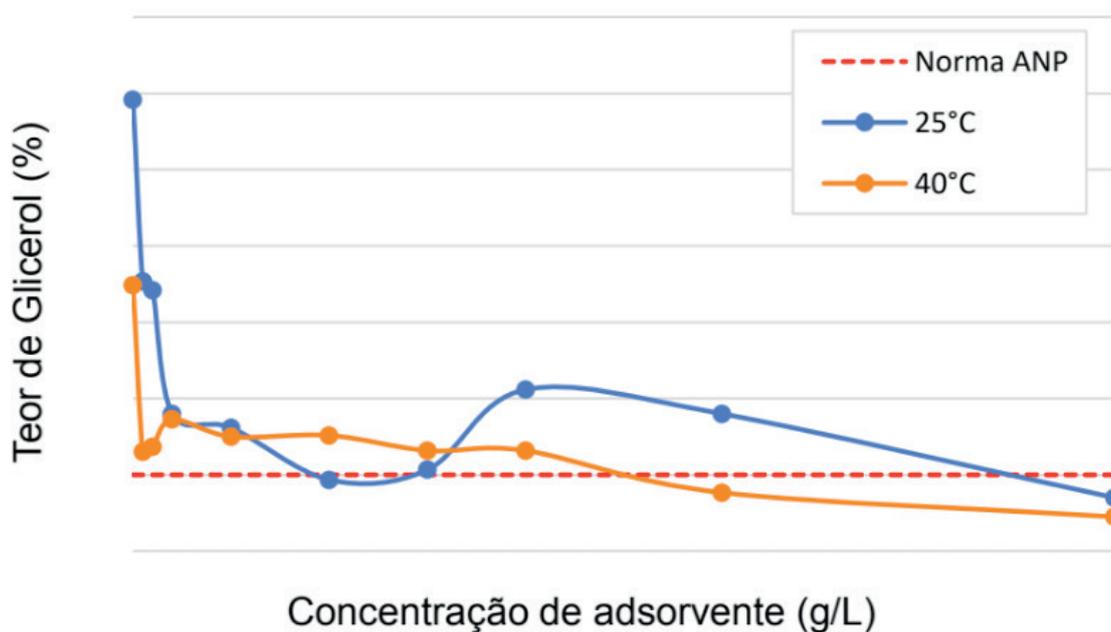


Figura 5. Teor de glicerol livre em função da concentração de adsorvente na purificação do biodiesel de óleo de milho neutro

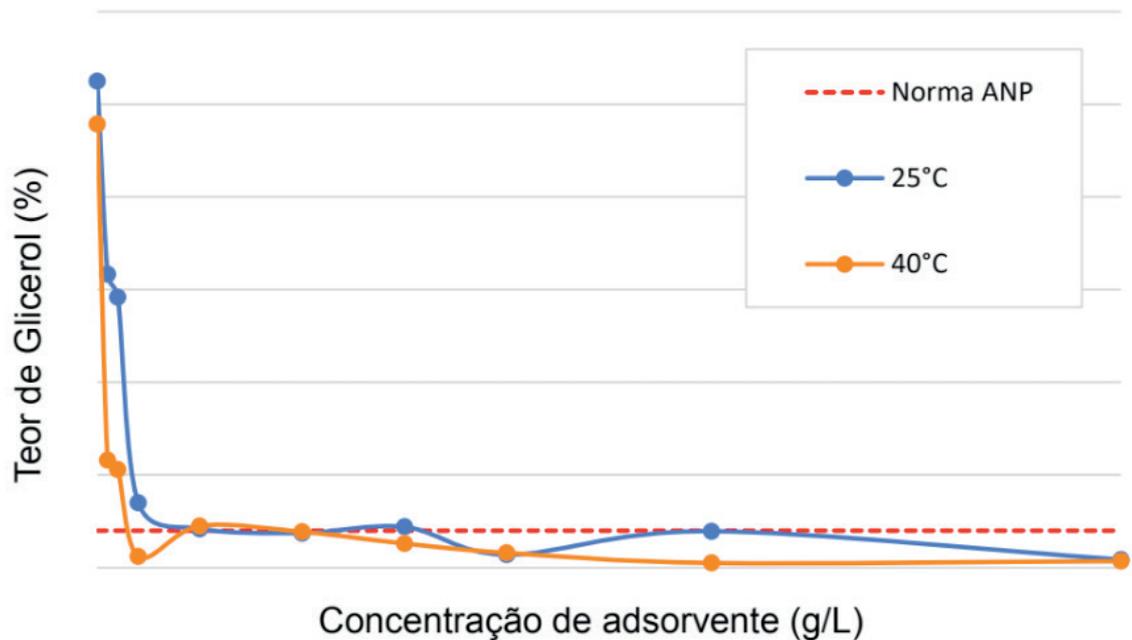


Figura 6. Teor de glicerol livre em função da concentração de adsorvente na purificação do biodiesel de óleo de milho refinado

Nas duas temperaturas avaliadas, tanto para o biodiesel de óleo de milho neutro quanto para o biodiesel de óleo de milho refinado, houve um aumento da remoção de glicerol com o aumento da concentração de adsorvente utilizada, já que há um aumento da área disponível para a adsorção. Porém, nos ensaios utilizando o óleo de milho neutro, na temperatura de 25 °C foi observada uma diminuição da remoção quando utilizadas as concentrações de 200 e 300 g.L<sup>-1</sup> de adsorvente. Acredita-se que estes resultados podem ser atribuídos à agitação insuficiente durante o tempo de contato ou à sensibilidade da análise titulométrica de quantificação do glicerol.

Os melhores resultados foram obtidos utilizando o biodiesel de óleo de milho refinado, em que o teor máximo de glicerol exigido para a comercialização do biodiesel foi alcançado a partir da concentração de 50 g.L<sup>-1</sup> de adsorvente para as duas temperaturas avaliadas. Acima desta concentração, o aumento da remoção se tornou menos acentuado. Considerando a temperatura de 40 °C, que possibilitou resultados mais estáveis, a maior remoção (98,3%) foi alcançada utilizando 300 g.L<sup>-1</sup> de adsorvente, que proporcionou uma concentração de glicerol igual a 0,003%. Além disso, o biodiesel purificado apresentou densidade igual a 0,8721 g.mL<sup>-1</sup>, que também está dentro das normas da ANP.

Os resultados obtidos neste trabalho são importantes uma vez que o carvão vegetal de casca de coco é um adsorvente de baixo custo que é produzido a partir de um resíduo. Sendo assim, seu uso na purificação de biodiesel pode proporcionar, também, vantagens econômicas.

A literatura apresenta alguns estudos de adsorção utilizando adsorventes alternativos para a purificação de biodiesel e os resultados publicados são comparáveis

aos obtidos neste trabalho. Alves et al. (2016) utilizaram bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente para o tratamento de biodiesel e demonstraram que o uso de 0,5%, em massa, de adsorvente foi eficiente para remover 40% do glicerol presente no biodiesel, resultando em um produto final com teor de glicerol menor do que 0,02%. Manique et al. (2012) também avaliaram a purificação do biodiesel por adsorção com cinzas de casca de arroz e obtiveram uma remoção de glicerol de 50% quando a concentração de adsorvente foi de 5%.

Para que uma comparação pudesse ser estabelecida, o biodiesel também foi purificado por meio de lavagens com água acidificada. A lavagem do biodiesel de óleo de milho neutro proporcionou uma remoção de 70,3% do glicerol presente no meio, de modo que a concentração de glicerol no produto final foi de 0,021%. Já para o biodiesel de óleo de milho refinado, a lavagem foi mais eficiente, em razão da menor quantidade de impurezas presentes, e a concentração de glicerol final foi de 0,016%, representando uma remoção de 93,3%. Apesar da eficiência da lavagem na purificação do biodiesel, este processo apresenta a desvantagem de produzir uma grande quantidade de efluente que deve ser tratado para a disposição final.

Considerando que as etapas de lavagem com água tradicionalmente usadas podem ser substituídas pelo processo de adsorção e que este processo proporcionou teores reduzidos de glicerol no biodiesel purificado, este estudo demonstra perspectivas de aprimoramento do processo de purificação de biodiesel.

## 4 | CONCLUSÕES

Os métodos de purificação a seco apresentam-se como alternativa para a redução da quantidade de água utilizada na etapa de purificação do biodiesel. Além disso, o uso de resíduos como adsorventes pode proporcionar a redução de custos no processo. Os resultados obtidos neste trabalho indicaram que o adsorvente estudado, o carvão vegetal obtido a partir de casca de coco, pode ser empregado na purificação do biodiesel utilizando a concentração de adsorvente de 100 g/L e tempo de 3 horas, para que a adsorção seja eficiente e resulte em um biodiesel dentro das especificações da ANP.

## REFERÊNCIAS

ANP, 2008. National Petroleum Agency. **ANP Resolution Number 7**, March 19, 2008. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/petro/biodiesel.asp>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

ALVES, M.J.; CAVALCANTI, I.V.; RESENDE, M.M.; CARDOSO, V.L.; REIS, M.H. **Biodiesel dry purification with sugarcane bagasse**, Industrial Crops and Products, v. 89, p. 119-127, 2016.

ATADASHI, I.M.; AROUA, M.K.; AZIZ, A.R.A.; SULAIMAN, N.M.N. **Refining technologies for the purification of crude biodiesel**, Applied Energy, v. 88, p. 4239-4251, 2011.

ÇETINKAYA, M.; KARAOSMANOĞLU, F. **Optimization of base-catalyzed transesterification reaction of used cooking oil.** Energy and Fuels, v. 18, p. 1888-1895, 2004.

KNOTHE, G.; VAN GERPEN, J.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P., **Manual de biodiesel**, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 2006, 340 p.

M.C. Manique, C.S. Faccini, B. Onorevoli, E.V. Benvenuti, E. B. Caramão, **Rice husk ash as an adsorbent for purifying biodiesel from waste frying oil**, Fuel, v. 92, p. 56-61, 2012.

MONTEIRO, M. R.; AMBROZIN, A. R. P.; LIÃO, L. M.; FERREIRA, A. G. **Critical review on analytical methods for biodiesel characterization.** Talanta, v. 77, p.593-605, 2008.

PISARELLO, M. L. et al. **Volumetric method for free and total glycerin determination in biodiesel**, Industrial and Engineering Chemistry Research, v. 49, p. 8935-8941, 2010.

VAN GERPEN, Jon. **Biodiesel processing and production.** Fuel Processing Technology, v.86, p. 1097-1107, 2005.

## AVALIAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO BAGAÇO DE MALTE SOBRE A ADSORÇÃO DO CORANTE DE AZUL DE METILENO UTILIZANDO COLUNA DE LEITO FIXO

### **Jordana Benfica Silva**

Universidade Federal de Viçosa - UFV,  
Departamento de Engenharia Química  
Viçosa – Minas Gerais

### **Heitor Otacílio Nogueira Altino**

Universidade Federal de São Carlos - UFSCar,  
Departamento de Engenharia Química  
São Carlos – São Paulo

### **Renata Nepomuceno da Cunha**

Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM,  
Departamento de Engenharia Química  
Patos de Minas – Minas Gerais

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi avaliar a capacidade de utilização do bagaço de malte como bioissorvente na remoção do corante azul de metileno. Para isso, o bioissorvente foi submetido à análise granulométrica, tratamento ácido-base e secagem. Os ensaios foram conduzidos com soluções aquosas de azul de metileno (80 mg/L e pH=3,5) e biomassa seca na faixa granulométrica de 16 a 32 mesh. A capacidade do bagaço de malte em remover o corante foi investigada em coluna de leito fixo com avaliações consecutivas da absorbância até a saturação do leito. Na faixa granulometria de 16, 28 e 32 mesh a capacidade máxima de adsorção foi de 9,02 , 9,26 e 21,44 mg.g<sup>-1</sup> , alcançadas após o tempo de 120, 90 e 310 min , com remoção

de 56,8, 60,0 e 87,5%, respectivamente. **PALAVRAS-CHAVE:** adsorção, azul de metileno, bagaço de malte.

**ABSTRACT:** The objective of this work was to evaluate the applicability of malt bagasse as a biosorbent for removal of methylene blue dye. For this purpose, the biosorbent was submitted to grain size analysis, acid-base treatment and drying. The tests were conducted with aqueous solutions of methylene blue (80 mg.g<sup>-1</sup> e pH=3.5) and dried biomass in the 16 to 32 mesh granulometric range. The capacity of the malt cake to remove the dye was investigated in a fixed bed column with consecutive evaluations of the absorbance until the saturation of the bed. In the 16, 28 and 32 mesh granulometry range the maximum adsorption capacity was 9.02, 9.26 and 21.44 mg.g<sup>-1</sup>, reached after the time of 120, 90 and 310 min, with removal of 56.8, 60.0 and 87.5%, respectively.

**KEYWORDS:** adsorption, methylene blue, malt bagasse

### 1 | INTRODUÇÃO

As técnicas clássicas de tratamento de efluentes são fundamentadas em processos de coagulação, seguidos por separação por flotação ou sedimentação, apresentando uma

elevada eficiência na remoção de material particulado. No entanto, para a remoção de compostos corados dissolvidos as mesmas se mostram ineficientes (KUNZ *et al.*, 2002).

Assim, a adsorção vem se mostrando como uma alternativa promissora devido ao seu baixo custo e facilidade de operação. Tal operação se baseia na remoção dos contaminantes pela interação entre o adsorbato (corante) e o material adsorvente (SILVA *et al.*, 2012).

O azul de metileno é um corante catiônico utilizado em diversos setores industriais. Apesar da sua baixa toxicidade, a remoção do mesmo é bastante estudada por se apresentar como uma molécula modelo, com bandas de absorção de suas diferentes espécies aparecendo em regiões distintas do espectro (NEUMANN *et al.*, 2000).

Nos últimos anos, o uso de biossorventes baseados em materiais orgânicos reaproveitados vem crescendo largamente (MALKOC e NUHOGLU, 2006). Dentre as biomassas destaca-se o bagaço de malte, principal resíduo da indústria cervejeira, rico em fibras.

O bagaço de malte é proveniente da mosturação seguida pela filtração. Diversos avanços tecnológicos têm proporcionado à indústria cervejeira grandes economias na minimização de geração de subprodutos ao longo do processo. Uma forma de atuação, no que diz respeito ao aproveitamento de resíduos é a busca de utilizações viáveis e econômicas para os inevitáveis resíduos agroindustriais gerados.

Nesse sentido, o uso de bagaço de malte (resíduo da indústria cervejeira) como adsorvente, no tratamento de efluentes constituídos por corantes, é uma das alternativas para o seu aproveitamento, além de contribuir para a mitigação ambiental. Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência e a cinética de adsorção do bagaço de malte na remoção do corante azul de metileno em coluna de leito fixo.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparo do material adsorvente

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia Química (LEQ) do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM). O bagaço de malte foi fornecido pela Micro cervejaria do referido laboratório. O pré-tratamento do bagaço de malte foi realizado por meio de análise granulométrica utilizando as peneiras de tamis 16, 28 e 32 mesh e agitador de peneiras eletromagnético Bertel®. Em seguida, as amostras foram tratadas com solução de NaOH 0,5 M por 2 h e lavada com água destilada para retirada da cor característica do resíduo. Efetuou-se ainda o tratamento com ácido cítrico 0,1 M, quando então lavou-se novamente com água destilada até obtenção de pH=7, visando a máxima liberação dos sítios de biossorção. O biossorvente tratado foi então seco em desidratador Pardal® PE 60 a 70°C.

## 2.2 Preparo da solução de corante

Para os ensaios de adsorção utilizou-se solução de azul de metileno a  $80 \text{ mg.L}^{-1}$  na temperatura de  $26,5 \pm 2^\circ\text{C}$ , a qual teve seu pH corrigido para 3,5 por meio de solução de HCl 0,1 M.

## 2.3 Ensaio de adsorção

Os ensaios de biossorção foram conduzidos em coluna de vidro multipropósito marca UpControl® com 70 cm de altura e 7 cm de diâmetro interno (Figura 1). A montagem do leito na coluna se constituiu na adição de 7 cm de esferas de vidro, 2 cm de biossorvente (26 g) e mais 2 cm de esferas de vidro. Adotou-se para todos os ensaios experimentais vazão fixa de  $50 \text{ mL.min}^{-1}$ . A medição da concentração remanescente, assim como a saturação da coluna foi avaliada por meio do monitoramento do efluente da coluna o qual foi analisado em um colorímetro CL-3003 Photometer munido de cubeta de vidro.

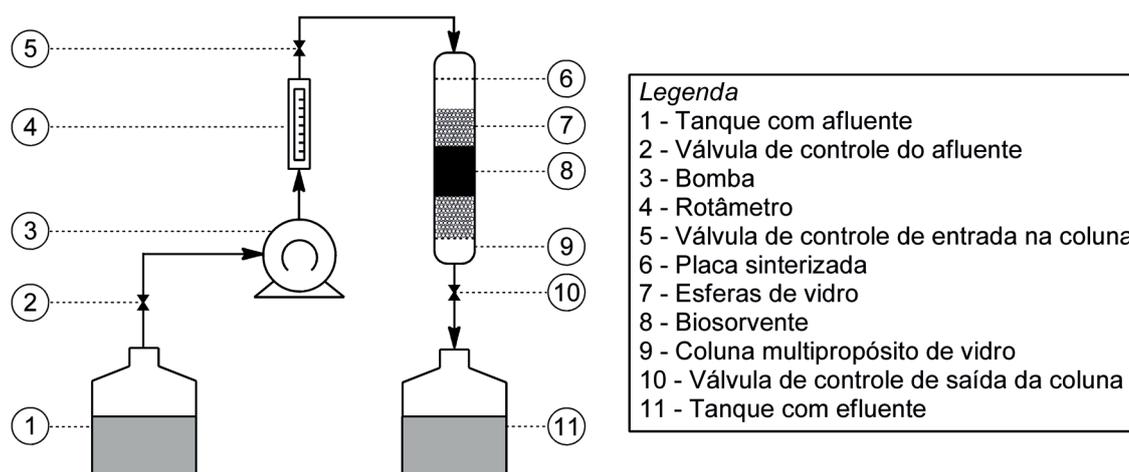


Figura 1 – Desenho esquemático do equipamento laboratorial utilizado para adsorção.

(Adaptado de Altino *et al.*, 2017)

A zona de transferência de massa (ZTM) [cm] pode ser calculada pela Equação 1, para um comprimento de leito  $H_t$  [cm], no tempo total equivalente à capacidade de empacotamento da coluna  $t_t$  [min] e baseando-se na capacidade útil representada por  $t_u$  [min] (GEANKOPLIS, 1993).

$$ZTM = \left(1 - \frac{t_u}{t_t}\right) H_t \quad (1)$$

Conforme Malkoc e Nuhoglu (2006), pode-se avaliar ainda a remoção total do íon ( $R_t$ ) [%], como descrito pelas Equações 2, 3 e 4.

$$-R_t = \frac{q_{\text{total}}}{m_{\text{total}}} 100 \quad (2)$$

$$m_{\text{total}} = \frac{C_0 Q t_{\text{total}}}{1000} \quad (3)$$

$$q_{\text{total}} = \frac{Q}{1000} \int_0^{t_{\text{total}}} (C_{\text{ad}}) dt \quad (4)$$

Em que:  $q_{\text{total}}$  é a quantidade total de íon bioissorvido [mg],  $t_{\text{total}}$  o tempo total [min],  $C_{\text{ad}}$  a concentração do íon bioissorvido [ $\text{mg.L}^{-1}$ ] e  $m_{\text{total}}$  a quantidade total de entrada de íon [mg].

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização dos estudos de adsorção em coluna de leito fixo utilizando o bagaço de malte como adsorvente, obteve-se a curva de calibração apresentada na Figura 2. A curva foi empregada para determinar as concentrações do corante azul de metileno remanescente no efluente da coluna. Destaca-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da equação obtida para descrever a curva foi de 0,9906, indicativo de ajuste da equação aos dados experimentais.

Na Figura 3 são apresentadas as curvas de *breakthrough* resultantes da bioissorção do azul de metileno pelo bagaço de malte nas granulometrias distintas. Percebe-se que as curvas de 16 e 28 mesh apresentam comportamento sigmoidal mais acentuado. Segundo Peruzzo (2003) fatores como: taxa de remoção, mecanismo do processo de adsorção, velocidade do fluido, concentração inicial de contaminante, comprimento e diâmetro do adsorvedor exercem influência na forma da curva de um sistema em particular. Tavares (2007) acrescenta que os fatores termodinâmicos, dentre eles as propriedades locais como a porosidade do leito e a capacidade do adsorvente, como uma função da concentração do fluido também exercem influência sobre a curva de ruptura.

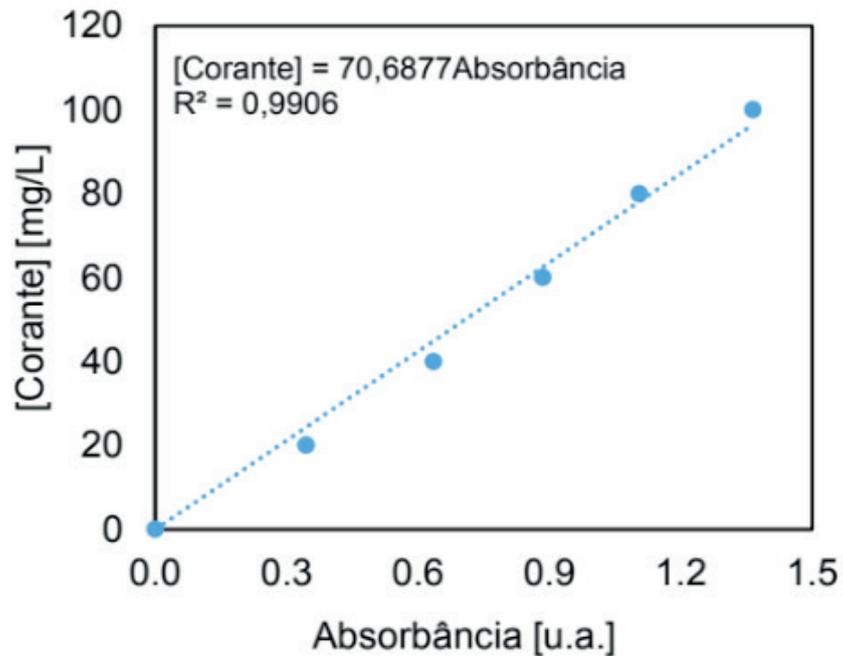


Figura 2 – Curva de calibração para o azul de metileno (pH=3,5).

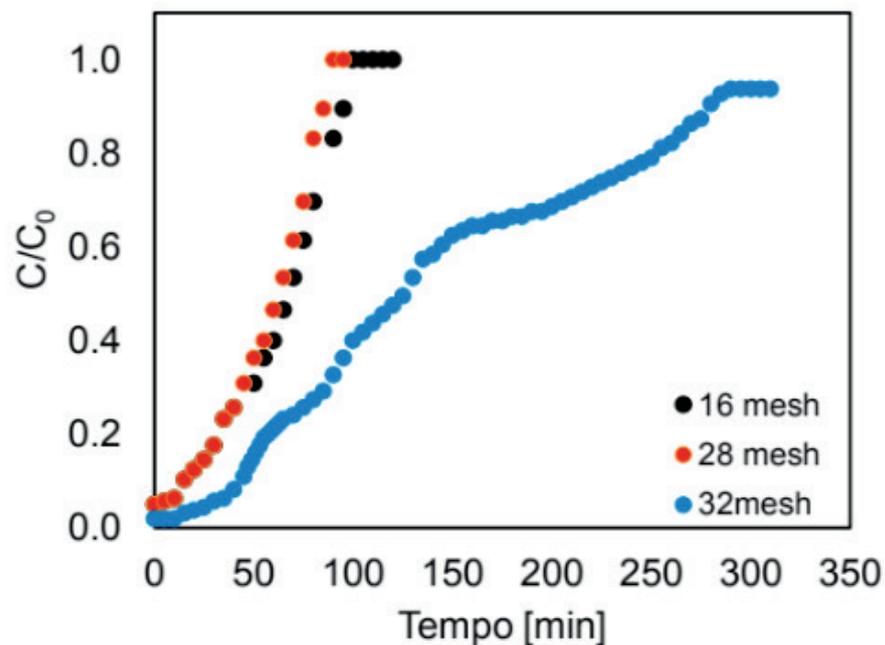


Figura 3 – Curva de *breakthrough* de biossorção de azul de metileno utilizando bagaço de malte nas granulometrias distintas.

A Tabela 1 explicita os parâmetros calculados a partir das curvas de rupturas obtidas na biossorção do azul de metileno pelo bagaço de malte. Nota-se que o tempo de *breakthrough* (tempo para o qual a concentração do efluente é de  $0,1C_0$ ) ( $t_b$ ) [min] e o tempo de saturação (tempo para o qual a concentração do efluente é de  $0,9C_0$ ) aumentam com o aumento da granulometria do adsorvente. Isto pode ser explicado pelo fato de que, com o aumento da granulometria, mais sítios de adsorção são “abordados” pelas moléculas de azul de metileno e lentamente ocorre a saturação.

Peruzzo (2003) acrescenta que o tempo de *breakthrough* é diretamente

proporcional ao comprimento do leito e inversamente proporcional ao tamanho de partícula do adsorvente, vazão e concentração inicial de contaminante.

De acordo com Besinella *et al.* (2009) o processo de moagem aumenta ainda mais a eficiência de adsorção, pois devido a moagem ser um processo puramente físico, ocorre a redução do tamanho da partícula do material adsorvente e, conseqüentemente, o aumento da área superficial específica do leito no processo de adsorção, o que comprova os parâmetros obtidos na Tabela 1.

Parâmetros	Granulometrias		
	16 mesh	28 mesh	32 mesh
$t_b$ [min]	15,00	15,00	35,00
$t_u$ [min]	13,62	14,09	33,24
$t_t$ [min]	56,78	58,25	134,95
ZTM [cm]	1,52	1,51	1,50
$q_e$ [mg.g <sup>-1</sup> ]	9,02	9,26	21,44
$R_t$ [%]	56,80	60,00	87,50

Tabela 1 – Parâmetros característicos do processo de biossorção em leito fixo.

Observa-se na Tabela 1 que a Zona de Transferência de Massa sofre influência da granulometria do biossorvente. Assim pequenas ZTM descrevem processos próximos da idealidade, indicando baixa resistência difusional, o que corrobora com maior remoção de corante.

Por meio da Tabela 1, verifica-se que quanto maior o tempo útil do corante com o adsorvente maior a eficiência de remoção do azul de metileno, o que comprova mais uma vez a utilização do bagaço de malte como adsorvente alternativo. Ressalta-se que eficiências significativas de remoção do corante foram obtidas na granulometria de 32 mesh (87,50%). Oliveira *et al.* (2016) em um estudo biossorção de corante catiônico utilizando bagaço de malte constatou capacidade de remoção de 88,65% o que compatibiliza os resultados encontrados neste trabalho.

Annadurai (2002) observou que à medida que reduções no tamanho da partícula acarretam em acréscimos da capacidade de adsorção do corante, o que se deve ao aumento da superfície de contato. Para partículas maiores, tem-se um aumento da resistência ao transporte de massa, sendo que a maior parte da superfície interna da partícula pode não ser utilizada para adsorção. Conseqüentemente, a quantidade de corante adsorvido é pequena resultando em uma baixa remoção.

#### 4 | CONCLUSÃO

A partir dos resultados de adsorção de azul de metileno, utilizando o bagaço de malte, em granulometrias distintas é possível inferir que:

(I) Verificou-se que o bagaço de malte apresenta elevado potencial no tratamento de efluentes contendo azul de metileno.

(II) A granulometria do bagaço de malte exerceu efeito significativo sobre a biossorção do azul de metileno, resultando em remoções elevadas na granulometria de 32 mesh.

## REFERÊNCIAS

ANNADURAI, G., JUANG, R. S., & LEE, D. J. (2002). **“Use of cellulose-based wastes for adsorption of dyes from aqueous solutions”**. Journal of Hazardous Materials, B92, 263–274

ALTINO, Heitor O. N.; COSTA, Bruno E. S.; CUNHA, Renata N. da. **“Biosorption optimization of Ni(II) ions on Macauba (*Acrocomia aculeata*) oil extraction residue using fixed-bed column”**. Journal Of Environmental Chemical Engineering, v. 5, n. 5, p. 4895-4905, out. 2017.

BESINELLA Jr., E.; MATSUO, M. S.; WALZ, M.; SILVA, A. F.; SILVA, C. F. **“Efeito da temperatura e do tamanho de partículas na adsorção do corante Remazol Amarelo Ouro RNL em carvão ativado”**. Acta Scientiarum Technology, v. 31, n° 2, p. 185-193, 2009.

GEANKOPLIS, C. J. **Transport Processes and Unit Operations**. 3. ed. New Jersey: Prentice-hall, 1993. 921 p.

KUNZ, A; PERALTA-ZAMORA, P; MORAES, S G; DURAN, N. **“Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis”**. Química Nova, [S.l.], v. 25, n. 1, p.78-82, fev. 2002.

MALKOC, E.; NUHOGLU, Y. **“Removal of Ni(II) ions from aqueous solutions using waste of tea factory: Adsorption on a fixed-bed column”**. Journal Of Hazardous Materials, [S.l.], v. 135, p. 328-336, jul. 2006.

NEUMANN, M. G.; GESSNER, F; CIONE, P. P ; SARTORI, R A. ; CAVALHEIRO, C. C. S . **“Interações entre corantes e argilas em suspensão aquosa.”** Química Nova, [S.l.], v. 23, n. 6, p. 818-824, 2000.

OLIVEIRA, E. G. GONÇALVES, C ., ECHEVARRIA, E. R , ROSA, G. S. **“Biossorção De Corante Catiônico Utilizando O Bagaço De Malte”** , Anais do XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Química . Fortaleza, 2016.

PERUZZO, L. C. **“Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo”**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. 2003, 93 p.

SILVA, A. M.; COSTA, F. O.; CARVALHO, E. da S. **“Estudo Da Capacidade De Adsorção Por Solvente Para Biomassas Adsorventes”**. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO E CIENCIA, 1., 2012, Paraíba. Anais... Paraíba: Realize, v. 1, p. 152-158, 2012.

TAVARES, J. K. **Remoção de compostos btex de soluções Aquosas por adsorção**.Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, 104P. 2007.

## AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE PARTICULADO NA QUEDA DE PRESSÃO DE UM CICLONE LAPPLE

### **Rosilanny Soares Carvalho**

Instituto Federal do Norte de Minas,  
Departamento de Engenharia Química  
Montes Claros - Minas Gerais

### **Daiane Ribeiro Dias**

Universidade Federal de Uberlândia,  
Departamento de Engenharia Química  
Uberlândia - Minas Gerais

### **João Carlos Gonçalves**

Instituto Federal do Norte de Minas,  
Departamento de Engenharia Química  
Montes Claros - Minas Gerais

**RESUMO:** Ciclones são instrumentos de separação que empregam uma resultante entre as forças de arraste, gravitacional, centrífuga e inércia para separar as partículas. Este apresenta em sua forma uma construção cônico-cilíndrica. São amplamente utilizados para remoção de partículas do ar ou de gases de processos, para secagem de materiais granulares e combustão de óleos, etc. Sua grande aplicabilidade deve-se ao seu baixo custo de construção, operação e manutenção, como também à possibilidade de suportar severas condições de temperatura e pressão. Desta forma o presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo experimental do separador ciclônico da Unidade de Separação e Transporte Pneumático presente no

Laboratório de Operações Unitárias do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Campus Montes Claros no qual os experimentos tiveram como variáveis de estudo a concentração de particulado e a perda de carga do equipamento ciclone. Resultados experimentais comprovam que a presença de particulado diminui a perda de carga do ciclone com isso observou-se que a queda de pressão na presença de sólido reduziu-se a cerca de 70% da queda de pressão de sistema monofásico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ciclone, Concentração de particulado, Perda de carga.

**ABSTRACT:** Cyclones are separation instruments that employ a resultant drag, gravitational, centrifugal and inertial forces to separate the particles. It has a conical-cylindrical construction in its shape. They are widely used for removal of particles from the air or process gases, for drying of granular materials and combustion of oils, etc. Its great applicability is due to its low cost of construction, operation and maintenance, as well as the possibility of withstanding severe conditions of temperature and pressure. In this way, the present work had as objective to carry out an experimental study of the cyclonic separator of the Separation and Pneumatic Transport Unit present in the Laboratory of Unitary Operations of the Federal Institute of the North of Minas Gerais, Montes

Claros Campus, in which the experiments had as study variables the concentration of particulate and the loss of load of the cyclone equipment. Experimental results confirm that the presence of particulate reduces the loss of charge of the cyclone with this it was observed that the pressure drop in the presence of solid reduced to about 70% of the pressure drop of single-phase system.

**KEYWORDS:** Cyclone, Particulate matter concentration, Load loss.

## 1 | INTRODUÇÃO

Ciclone ou separador ciclônico é um coletor centrífugo para remoção de partículas sólidas suspensas em gases. As partículas são separadas da corrente fluida sob a ação de uma força centrífuga resultante do escoamento da suspensão. É composto basicamente por um corpo cilíndrico e cônico sem partes móveis que possui uma entrada e duas saídas. Sendo um dos equipamentos mais utilizados entre as classes dos separadores centrífugos, para o controle de particulados. São bastante utilizados para o controle da poluição do ar e recuperação de produtos com alto valor agregado (Cerri, 2010; Peçanha, 2014).

Basicamente seu mecanismo de funcionamento consiste em uma corrente gasosa carregada de partículas que entra na parte superior da seção cilíndrica, tangencialmente, onde se inicia o movimento circulatório na seção anular em uma região próxima à parede, formando um vórtice externo descendente. Esse vórtice se estende até a base do ciclone invertendo o seu sentido onde resulta em um vórtice interno ascendente a qual impulsiona o fluxo de gás para a saída do ciclone. As partículas sólidas são depositadas na extremidade inferior (*underflow*) da estrutura cônica e na saída axial superior (*overflow*) sai o gás limpo (Júnior, 2014). Segundo Gomide (1980), os ciclones também permitem separar gotículas líquidas arrastadas pelas correntes gasosas, podendo trabalhar a seco ou a úmido, tanto a baixas temperaturas e pressões, como a temperaturas de até 1000 °C e pressões de 500 atm.

O comportamento fluidodinâmico do ciclone é muito complexo. Devido à geometria do equipamento, o movimento do gás é geralmente muito turbulento (cria um campo centrífugo) e a maioria das partículas assume a forma de espirais concêntricas e de mesmo sentido de rotação. O movimento das partículas; um descendente, junto às paredes do ciclone com alta concentração de partículas, e outro ascendente, em volta do eixo de simetria do equipamento com baixa concentração de partículas que torna o escoamento complexo (Peçanha, 2014).

Os ciclones são classificados em diversos tipos, sendo diferenciados pela proporção entre as suas dimensões. O modelo desenvolvido por Shepherd e Lapple (1939, 1940) conhecido como ciclone Lapple apresenta proporções geométricas e desempenho bastante confiáveis (Peçanha, 2014).

A proposta deste trabalho foi determinar experimentalmente a queda de pressão na presença de particulado em um ciclone do tipo Lapple de uma unidade de Transporte

e Separação Pneumática tendo como meta avaliar a redução da perda de carga em diferentes concentrações de particulado e comparar com a queda de pressão de um sistema monofásico.

### 1.1 Queda de pressão

Na operação industrial de um ciclone a queda de pressão é parâmetro de extrema importância a ser considerado, pois está relacionada ao consumo de energia que por sua vez está influenciado diretamente pela potência do exaustor, sendo este o responsável por aumentos dos custos de operação da unidade. É imprescindível levar em consideração um equilíbrio entre a velocidade de entrada e concentração de sólidos versus a perda de carga, com objetivo de ser alcançado um bom desempenho industrial do equipamento (Cipolato, 2011).

Nos processos industriais a queda de pressão em um separador centrífugo é usualmente considerada como sendo a diferença entre a pressão total (dinâmica somada à estática) na entrada e na saída de gases do ciclone. Isto é significativo, pois este escoamento se dá na forma vorticial e nele encontra-se acumulado uma contribuição de pressão dinâmica difícil de ser mensurada experimentalmente e isso interfere na medida da queda de pressão do ciclone (Hoffman, 2002).

$$\Delta P = P_{in} - P_{out} = (\rho_m - \rho)g \Delta h_{ciclone} \quad (1)$$

Os seguintes fatores contribuem para queda de pressão entre a entrada e a saída do separador centrífugo, sendo estes identificados por Shepherd e Lapple (1939): perda devido à expansão do fluido na entrada do equipamento ciclônico, perda como energia cinética devido à rotação, perda devido à fricção na parede cilíndrica do ciclone, quaisquer perdas de fricção adicionais no canal de saída resultante do fluxo vorticial interno ascendente e além das perdas ocorridas pelo fluxo direto.

Dos fatores citados, a principal perda de energia (carga) ocorre na entrada do ciclone seguida da perda no corpo do ciclone e da perda no *vortex finder* (tubo de saída de gás) (Figura 1).

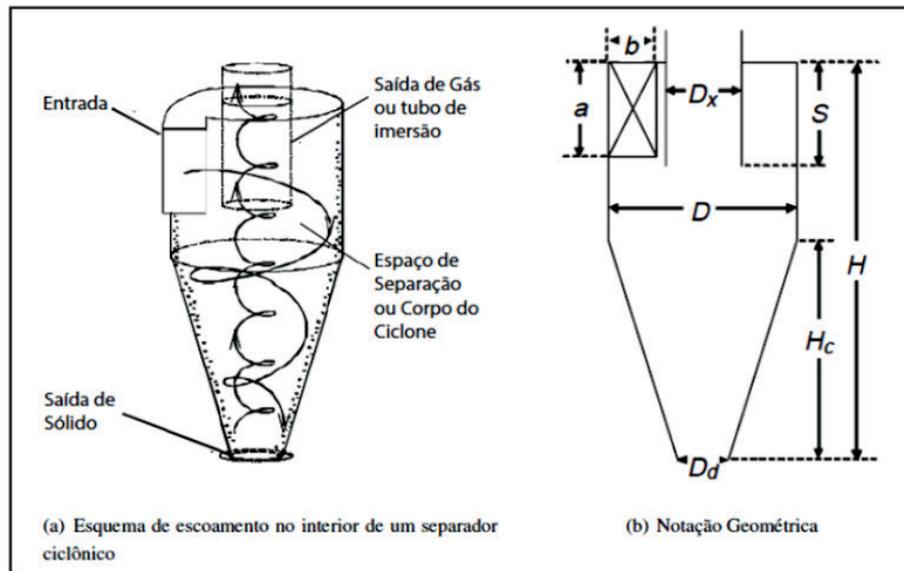


Figura 1 : Esboço operacional de um ciclone cujas dimensões básicas são indicadas na figura (b) e descritas na Tabela 1.

Fonte: HOFFMANN; STEIN, 2002.

Cota	Legenda
D	Diâmetro da seção cilíndrica
H	Altura total do ciclone
$D_x$	Diâmetro do <i>vortex finder</i>
S	Comprimento do <i>vortex finder</i>
a	Altura da entrada
b	Largura da entrada
$H_c$	Altura da seção cônica
$D_d$	Diâmetro da saída de particulado

Tabela 1 – Dimensões básicas de um ciclone.

Fonte: Próprios autores.

Os custos energéticos devido à queda de pressão ( $\Delta P$ ) representam os maiores custos de operação para os ciclones (Dirgo e Leith, 1985). Pode-se calcular a potência necessária de um soprador ( $E_c$ ) pela Equação (2).

$$E_c = \frac{Q \Delta P}{E} \quad (2)$$

Onde E é a eficiência do soprador. Conseqüentemente, para um aumento da queda de pressão, se faz necessário um soprador de maior potência e como resultado tem-se um maior consumo de energia, aumentando-se os custos operacionais para a separação de um particulado.

## 1.2 Efeito da Concentração de Alimentação na Queda de Pressão

Segundo Fassani e Goldstein (2000) a queda de pressão no ciclone é reduzida quando partículas são introduzidas no escoamento. Sendo esse efeito resultado da inércia da partícula, que tenderia a igualar o momento do gás nas camadas adjacentes, na direção do fluxo do gás.

Shepherd e Lapple (1939), trabalhando juntos desenvolveram diversos estudos de base experimental, com ciclones com seções de vidro (o que possibilitou visualizar o escoamento). Além das proporções geométricas eles estudaram o comportamento da queda de pressão quando a concentração de partículas era diferente. Eles observaram que em determinada concentração de sólidos, a queda de pressão seria menor quando comparada sem alimentação de sólidos. Para uma concentração de 0,0046 a 0,0069 kg/m<sup>3</sup> a queda de pressão foi 7 % menor do que com escoamento monofásico (apenas gás no escoamento). Para uma concentração de 0,046 a 0,069 kg/m<sup>3</sup> a queda de pressão foi reduzida em 16% quando comparada a queda de pressão sem alimentação de sólidos (Frare, 1999).

Hoffmann et al. apud (Frare,1999), estudaram a influência da concentração de sólidos em diferentes modelos de ciclones. Para cada geometria estudada verificou-se um forte decréscimo da queda de pressão com o aumento da concentração de particulado. Os dados experimentais obtidos foram ajustados pela seguinte Equação (3):

$$\frac{\Delta P_c}{\Delta P} = 1 - \alpha \cdot C^\beta \quad (3)$$

Yuu *et al.* (1978) também investigaram a redução na queda de pressão devido à presença de particulado no fluxo gasoso na alimentação. A faixa de concentração de sólidos estudada compreendeu o intervalo de 0 a 0,071 kg/m<sup>3</sup> para três diferentes tipos de sólidos: pó de PVC com uma densidade de 1,33 g/cm<sup>3</sup>; “Fly Ash” com densidade de 2,00 g/cm<sup>3</sup> e pó de Manganês, com densidade de 4,37 g/cm<sup>3</sup>. Eles observaram uma redução de 30% no valor da queda de pressão para concentração de 0,0002 kg/m<sup>3</sup>. Na faixa de 0,0015 a 0,05 kg/m<sup>3</sup>, a razão entre a queda de pressão do ciclone com o gás contendo partículas e a queda de pressão do ciclone com o gás isento de partículas na mesma velocidade de alimentação, era independente da concentração de sólidos. Mas voltava a decrescer para valores acima de 0,050 kg/m<sup>3</sup>. Segundo os autores, a principal razão para a redução de pressão é o aumento do atrito na parede do ciclone diminuindo a velocidade tangencial.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Unidade Experimental

Para a realização deste trabalho utilizou-se o Módulo de Transporte e Separação Pneumática presente no Laboratório de Engenharia Química I, conforme apresentado na Figura 2.

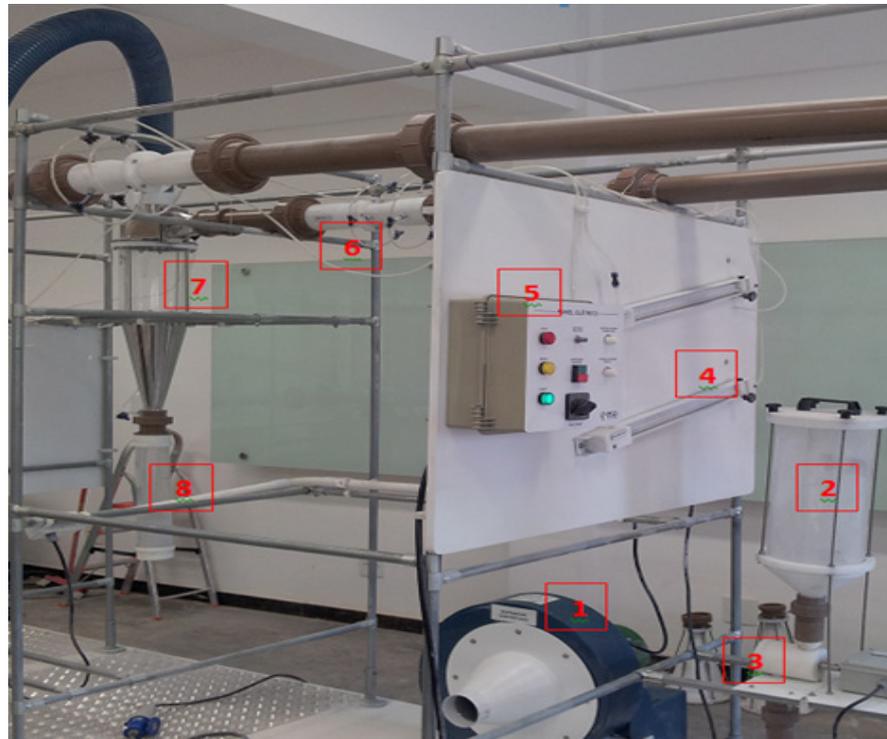


Figura 2: Módulo didático de transporte e separação pneumática sólido-gás.

Fonte: GONÇALVES, 2015.

O sistema experimental é composto por: Um circuito de transporte pneumático que possibilita alteração de meio de retenção de particulados construído com dutos de 76 mm de diâmetro composto por seções em acrílico para visualização do fluxo de alimentação e com um comprimento total de 6 m. Um exaustor centrífugo (1) tipo limit load de 5 CV. Um silo de alimentação de sólidos (2) acoplado a uma rosca de alimentação (3), controlado por inversor de frequência, para alimentação de particulados no circuito de transporte pneumático. Um painel composto por 04 manômetros de tubo em U, dos quais dois são utilizados para a para medição de pressão diferencial nos Venturi (4) e os outros dois para medição da perda de carga do ciclone. Um inversor de frequência para controle de rotação/vazão. Um painel elétrico (5), construído conforme NR 10, provido de controle de rotação de do exaustor e das válvulas rotativas do sistema. Dois medidores de vazão tipo Venturi idênticos (6). Um módulo de ciclone Lapple (7), com visor na parte cilíndrica, dotado de um se reservatório para coleta dos sólidos (8), conforme as dimensões geométricas estão apresentadas na Tabela 2.

Parâmetro geométrico	Dimensão (mm)
b	44
D	190
Dx	104
S	125
a	94
H	785
Hc	386
Dd	44

Tabela 2- Dimensões do ciclone estudado.

Fonte: Próprios autores.

## 2.2 Material Utilizado

O material particulado utilizado nos experimentos físicos deste trabalho foi o pó de Magnesita fornecido pela Empresa MAGNESITA S.A localizada em Contagem Minas Gerais com densidade de  $2880 \text{ kg/m}^3$  com mais de 80% do particulado com diâmetro acima de  $50 \mu\text{m}$ .

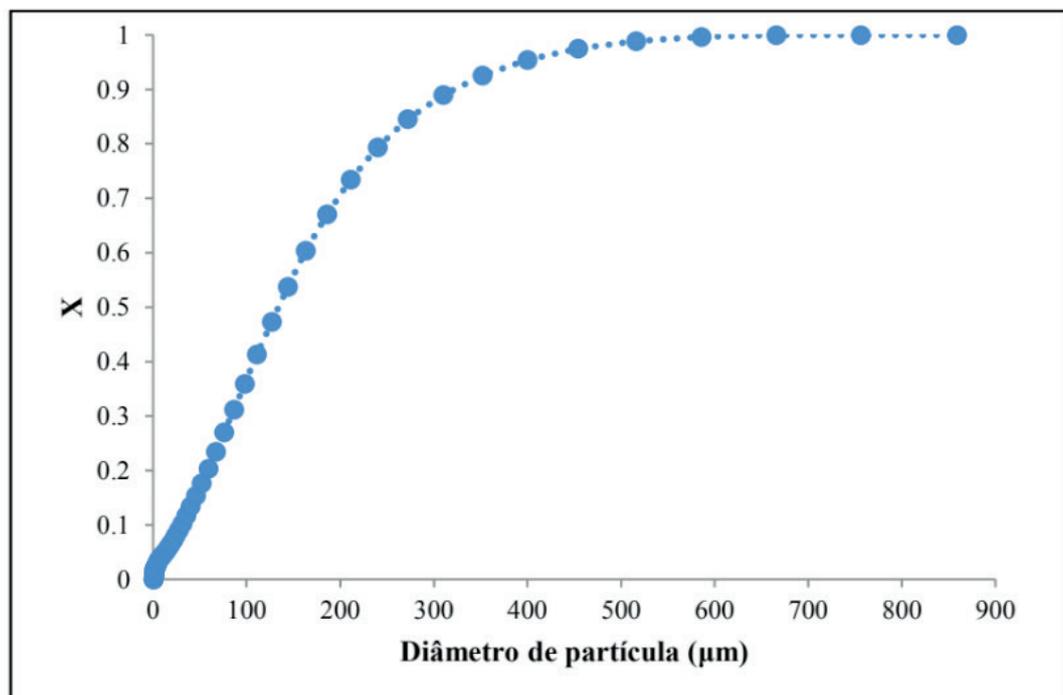


Figura 3 – Distribuição granulométrica da Magnesita.

Fonte: GONÇALVES, 2015.

## 2.3 Procedimento Experimental

O experimento inicia-se com o acionamento de um inversor de frequência que regula o motor para manutenção de uma vazão constante de ar no sistema. Durante o experimento a fase sólida é alimentada no sistema alimentador (2). O alimentador de sólidos é calibrado antes do experimento.

Tendo em vista que a vazão de alimentação de particulado que sai do silo não é

a mesma que entra no ciclone, devido à configuração do módulo didático, dessa forma foi feita uma calibração da vazão de alimentação.

A avaliação da queda de pressão foi feita em uma faixa de concentração de 0,03 kg/m<sup>3</sup> a 0,112 kg/m<sup>3</sup> onde se operou com três velocidades de fluido gasoso: 11,13 m/s, 15,74 m/s e 19,81 m/s.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como experimento preliminar realizou-se a calibração da rosca de alimentação de sólido e da vazão de alimentação de sólido-gás na entrada do ciclone conforme apresentado na Figura 3 e na Figura 4.

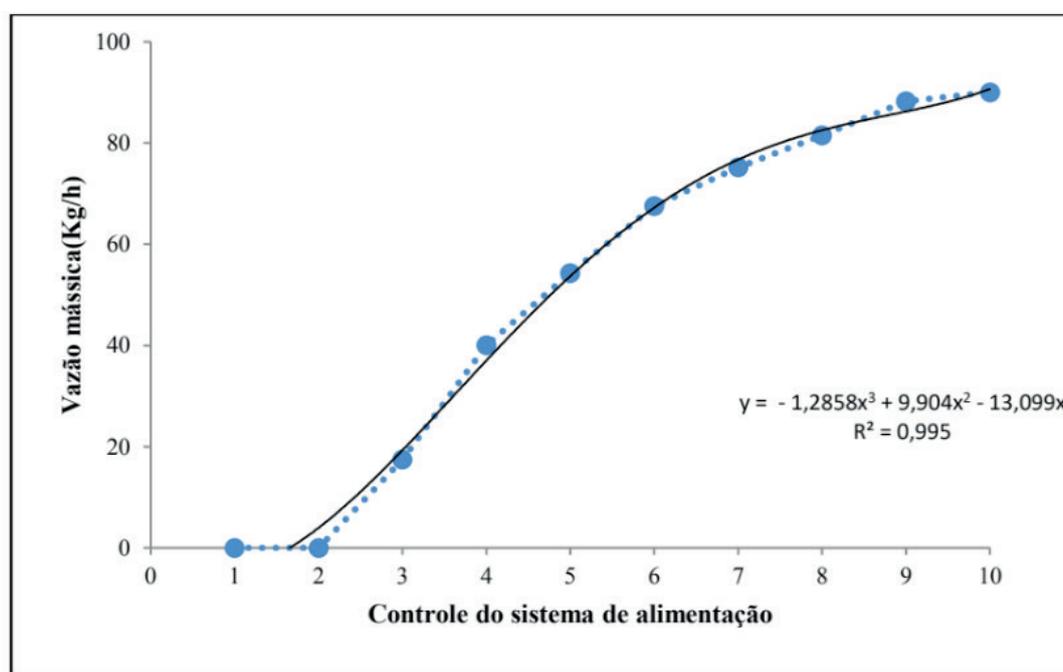


Figura 3: Calibração da rosca de alimentação.

Fonte: Próprios autores.

Conforme apresentado na Figura 3 a vazão de alimentação de sólido em função do controle de rotação da rosca ajustou-se a uma equação cúbica a qual apresentou um  $R^2$  igual a 0,995, evidenciando assim que a equação gerada representou bem a calibração realizada.

Observando-se a Figura 4 é possível verificar que para vazões de particulado acima de 50 kg/h na rosca de alimentação a vazão é reduzida a menos de 50% da vazão inicial ao chegar à entrada do ciclone, pois parte do particulado alimentado pelo silo fica retido na tubulação devido a configuração do módulo de Transporte e Separação Pneumática (Figura 2). Dessa forma constatou-se que é necessário que o sistema de alimentação fique próximo à entrada do separador ciclônico para garantir que a vazão de particulado que sai pelo silo de alimentação seja igual (ou muito próxima) à vazão de que entra no ciclone.

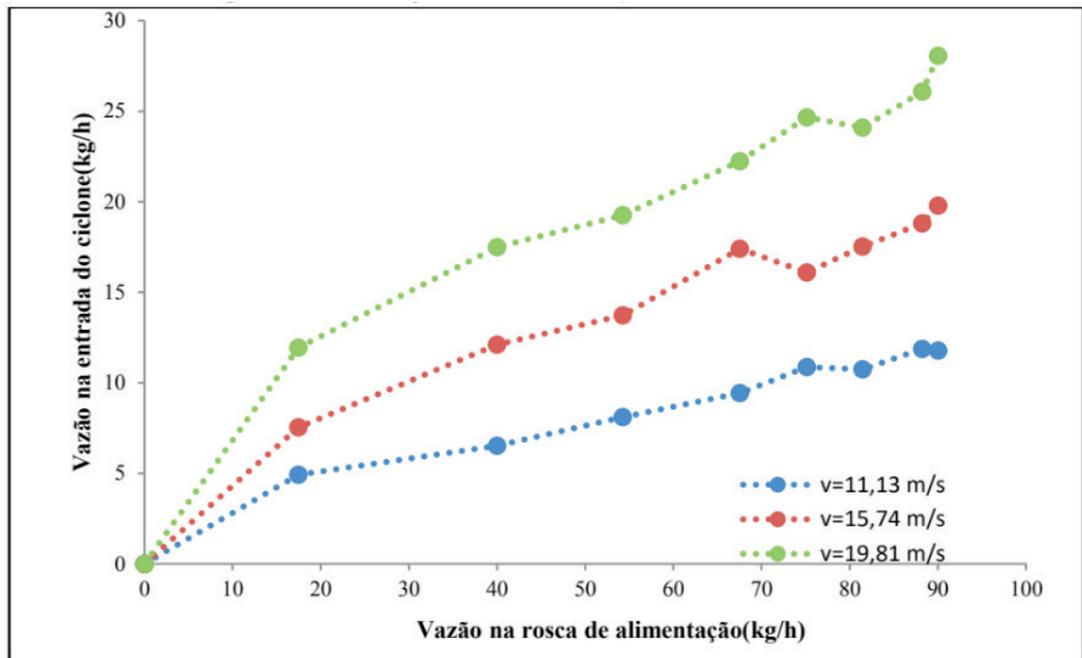


Figura 4: Calibração da vazão de particulado no ciclone.

Fonte: Próprios autores.

Após a calibração, realizou-se a avaliação da queda de pressão para diferentes velocidades gás obtendo-se o gráfico apresentado na Figura 5.

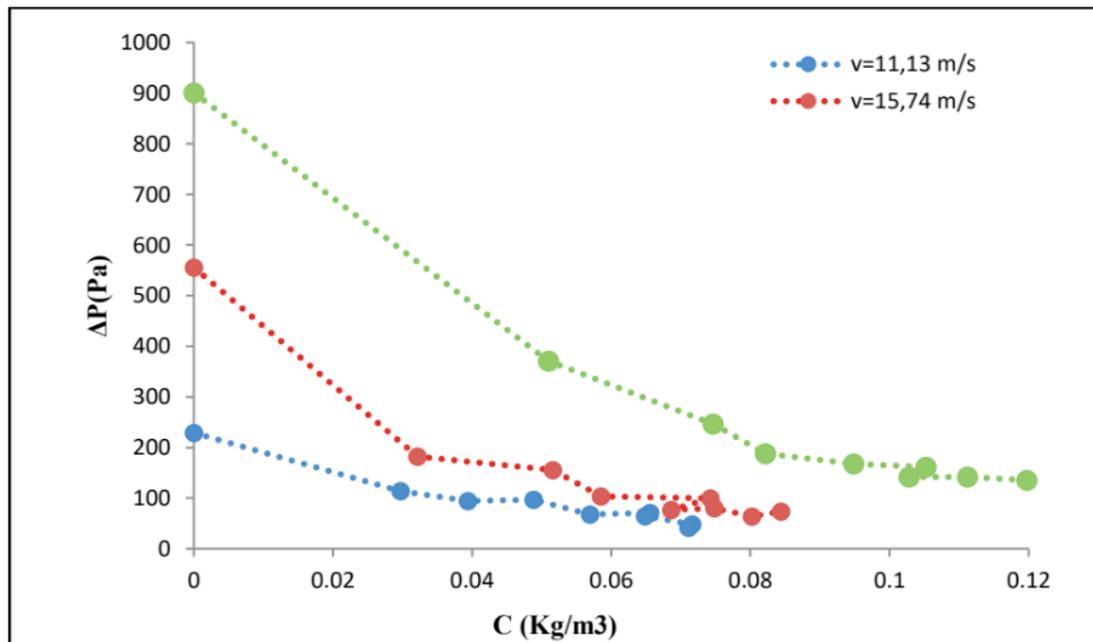


Figura 5: Verificação do efeito da concentração de particulado na queda de pressão.

Fonte: Próprios autores.

Por meio dos dados obtidos para queda de pressão na presença de particulado é possível verificar que a perda de carga do ciclone é reduzida e quanto maior a concentração de sólidos menor é o  $\Delta P_c$ .

Entretanto, observa-se que a pressão reduziu-se a menos de 50% da queda de pressão em sistema monofásico diferente do valor observado por Yuu (1978) que

observou em seus ensaios experimentais que o  $\Delta P_c$  reduziu-se a cerca de 70% do  $\Delta P$  para o sistema sem particulado. Shepherd e Lapple (1939) em seus experimentos também não obtiveram uma grande diminuição no  $\Delta P_c$  e isso também foi posteriormente observado por Yuu (1978) . Com isso pode-se entender que o método de medida de queda de pressão pode não ser tão eficiente.

Segundo Hoffman e Stein (2002), a medida da queda de pressão como sendo a diferença entre a pressão estática na entrada e na saída não é uma forma confiável de verificação de perda de carga do separador ciclônico devido ao fato do escoamento vorticial interferir na contabilização da pressão estática de saída. E o referido autor sugere que seja utilizado um retificador de vortex para diminuir a interferência do escoamento vorticial na queda de pressão.

Dessa forma, entende-se que provavelmente o escoamento vorticial que passa pelo *vortex finder* está interferindo na medida da queda de pressão tanto no sistema monofásico quanto no sistema bifásico de tal forma que a queda de pressão parece ser bem menor do que realmente é.

Linearizou-se o modelo proposto por Hoffman et al apud (Frare, 1999) e obteve-se os seguintes dados apresentados na Tabela 1.

Modelo de Hoffman			
v(m/s)	$\alpha$	$\beta$	R <sup>2</sup>
11,130	2,884	0,502	0,892
15,740	1,816	0,293	0,900
19,810	2,219	0,434	0,935

Tabela 2: Aplicação do modelo de Hoffman et al apud (Frare, 1999).

Fonte: Próprios autores.

Comparando-se os valores das constantes  $\alpha$  e  $\beta$  encontrados pelo autor do modelo com os valores apresentados na Tabela 2 verifica-se que estão próximos e se ajustaram bem ao modelo tendo em vista que os valores encontrados por Hoffman para alfa e beta são, respectivamente, 1,26 e 0,6 e que o R<sup>2</sup> obtido foi superior a 0,89. Além do método de medida do  $\Delta P_c$ , outros fatores podem ter influenciado como, por exemplo, a densidade e granulometria da partícula por serem diferentes da faixa analisada por Hoffman.

## 4 | CONCLUSÃO

Este estudo avaliou o efeito da concentração na queda de pressão de um separador ciclônico do tipo Lapple. Usando como particulado o pó de Magnesita em uma faixa de concentração de 0,03 kg/m<sup>3</sup> a 0,112 kg/m<sup>3</sup> na suspensão gasosa, pode-se verificar que a perda de carga diminui com a presença de sólido e quanto maior a concentração menor a queda de pressão. Com base nos resultados verificou-se

também a necessidade de estudar o efeito de um retificador de vortex e pretende-se ser realizado para verificar se o mesmo consegue diminuir o efeito do escoamento vorticial.

## NOMENCLATURA

$\Delta P$  - queda de pressão para o gás sem a presença de particulado (Pa)

$\Delta h_{\text{ciclone}}$  - variação de altura manométrica (mm)

$g$  - aceleração da gravidade ( $m/s^2$ )

$P_{\text{in}}$  - pressão estática na entrada do ciclone (Pa)

$P_{\text{out}}$  - pressão estática na saída do ciclone (Pa)

$\rho_m$  - densidade do fluido manométrico do manômetro ( $kg/m^3$ )

$\rho$  - densidade do fluido (ar) ( $kg/m^3$ )

$\Delta P_c$  - queda de pressão para o gás com partículas (Pa)

$C$  - concentração de sólidos na entrada do ciclone ( $kg/m^3$ )

$\Delta P$  - queda de pressão para o gás limpo (Pa)

$\alpha$  e  $\beta$  - constantes do modelo de Hoffaman que valem 1,26 e 0,6 respectivamente.

## REFERÊNCIAS

CERRI, F. F. P. (2010). **Estudo para validação de modelo gás-sólido em separação ciclônica de sais de iodo na indústria química**. PPG-EQ/UFSC - Florianópolis - SC, p. 27, 29 (dissertação de mestrado).

CIPOLATO, C. A. (2011). **Dimensionamento, construção e análise de desempenho de ciclone para otimização da separação granulométrica de partículas em fábricas de tintas em pó**. PPG-TA/UNAERP – Ribeirão Preto – SP, p. 29.

FASSANI, F.L. e GOLDSTEIN, L. (2000). **“A study of high inlet solids loading on cyclone separator pressure drop and collection efficiency”**. Powder technology, vol. 107, p. 60-65.

FRARE, L.M. (1999). **Estudo da eficiência de coleta e queda de pressão para ciclones a gás alimentados com finos de xisto**. PPG-EQ/UFM – Maringá – PR, p.14 (dissertação de mestrado).

DIRGO, J. e LEITH, D. (1985). **“Cyclone collection efficiency – comparison of experimental results with theoretical predictions”**. Aerosol science and technology vol. 4, p. 401-415.

GOMIDE, Reinaldo (1980). **Operações unitárias: Separações mecânicas**. São Paulo: edi. do autor, v.3. p.159-165.

GONÇALVES, J.C. (2015). **Uma contribuição ao estudo do processo de separação em ciclones filtrantes**. PPG-EQ/UFU- Uberlândia –MG, 206 f (Tese de Doutorado).

HOFFMANN, A. C.; STEIN, L. E. (2002). **Gas Cyclones and Swirl Tubes: Principles, Design and Operation**. Berlim: Springer.

JÚNIOR, J. C. (2014). **Avaliação do desempenho de um ciclone stairmand adaptado com bicos infetores de água**. PPG-EQ/UFSCar - São Carlos - SP, p. 11-12 (dissertação de mestrado).

PEÇANHA, R.P. (2014). **Sistemas particulados: Operações Unitárias envolvendo partículas e fluidos**. Edição: 1<sup>a</sup>, p. 160-161.

YUU, S., JOTAKI, T., TOMITA, Y., YOSHIDA K. (1978). "The Reduction of Pressure Drop Due to Dust Loading in a Conventional Cyclone". **Chemical Engineering Science**, v. 33, pp. 1573-1580, 1978.

## AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS: SEDIM 2.0

**Roberta de Almeida Costa Campeão**

Universidade Federal Fluminense

Niterói – Rio de Janeiro

**Mônica de Aquino Galeano Massera da  
Hora**

Universidade Federal Fluminense

Niterói – Rio de Janeiro

**RESUMO:** A produção de sedimentos além de indicar a qualidade ambiental também demonstra a pressão que o homem exerce sobre o meio ambiente. Algumas consequências do uso inadequado do solo, como por exemplo o desmatamento, são a diminuição do tempo de acumulação das águas nas bacias hidrográficas, provocando picos de cheias, e as alterações ambientais. O transporte de sedimentos é, portanto, de grande importância nas obras de engenharia, em particular para o Brasil, cujo sistema elétrico é predominado por hidrelétricas. Hora, em 1996, desenvolveu o programa SEDIM 1.0, que apesar de ter sido amplamente utilizado durante anos, foi criado para computadores de 32 bits, existindo, atualmente, problemas de compatibilidade para computadores de 64 bits. Dessa forma, devido ao avanço tecnológico, se fez necessária, a sua atualização para a versão SEDIM 2.0. A primeira versão foi estruturada na linguagem QBASIC, enquanto a segunda foi desenvolvida em Python, preparada para operar

em Windows 64 e 32 bits. Devido à linguagem de programação utilizada, o SEDIM 2.0 é livre e permite atualizações, bem como a integração com outros programas já existentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arraste, Suspensão, Descarga Sólida, Sedim 2.0.

**ABSTRACT:** The production of sediments besides indicating the environmental quality also demonstrates the pressure that man exerts on the environment. Some consequences of inappropriate soil use, such as deforestation, are the reduction of the time of water accumulation in watersheds, causing flood peaks, and environmental changes. Sediment transport is therefore of great importance in engineering works, particularly for Brazil, whose electrical system is predominated by hydroelectric dams. Hora, in 1996, developed the software SEDIM 1.0, which although it has been widely used for years, was designed for 32-bit computers, and currently has compatibility issues for 64-bit computers. Thus, due to the technological advance it was necessary to update it to SEDIM version 2.0. The first version was structured in the QBASIC language, while the second was developed in Python, prepared to operate on Windows 64 and 32 bits. Due to the programming language used, SEDIM 2.0 is free and allows for updates as well as integration with other existing programs.

## 1 | INTRODUÇÃO

O aumento acelerado do uso do solo e do aproveitamento dos recursos hídricos somados à falta de planejamento urbano e rural teve como consequência a ocupação irregular do solo, a redução de matas ciliares, práticas agropecuárias inadequadas, entre outros. Isso tudo acarretou o aumento das erosões nas terras, do transporte sólido nos rios e depósitos dos sedimentos nos canais fluviais e reservatórios, portos fluviais e marítimos e na foz dos cursos d'água (CARVALHO, 2008).

No que diz respeito às bacias hidrográficas, o desmatamento, que tem que como uma das consequências a erosão acelerada, é um dos principais fatores do desequilíbrio hidráulico-sedimentológico. A erosão e o desmatamento trazem como consequências a diminuição do tempo de acumulação das águas nas bacias, provocando picos de cheias e também alterações ecológicas (HORA, 1996). Podem também reduzir a vida útil de reservatórios, prejudicar a prática de navegação, elevar os custos do tratamento de água, entre outros (BELING et al., 2007).

Nesse contexto, o estudo hidráulico-sedimentológico é de grande importância nas obras de engenharia, inerentes ao desenvolvimento das áreas urbanas e rurais. Vale ressaltar que os custos para desassorear o leito de um rio, lago ou reservatório são elevados (BELING et al., 2007). Além disso, é particularmente importante para o Brasil em razão dos sistemas elétricos do país serem predominantemente hidráulicos (CARVALHO et al., 2000).

As primeiras tentativas de modelar o fenômeno de transporte de sedimentos datam do século XIX, com a chamada Lei de Stokes que determinou a velocidade terminal de sedimentação (POLETO, 2008). Já no século XX, foram desenvolvidas formulações que consideram o transporte de sólidos nos rios, entre elas estão, por exemplo, os modelos de Einstein (1950) e Yang (1973). A carga sólida se refere ao fenômeno qualitativo do movimento, podendo ser em suspensão, de arrasto, em contato e saltante (CARVALHO e HORA, 2014).

Hora, em 1996, desenvolveu o programa SEDIM 1.0, que realiza o cálculo, através de diversas formulações, da carga sólida que se transporta essencialmente por arraste e da carga sólida que se transporta por arraste e suspensão. SEDIM 1.0 foi criado para computadores de 32 *bits*, existindo, atualmente, problemas de compatibilidade em computadores de 64 *bits*.

Dessa forma, devido ao avanço tecnológico, se fez necessária a atualização do programa para a versão SEDIM 2.0. A primeira versão foi estruturada na linguagem *QBASIC*, enquanto a segunda foi desenvolvida em *Python*, que por ser portátil, permite a sua execução em diferentes tipos de computadores com pouca ou nenhuma modificação (DOWNEY, 2012).

## 2 | LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO PYTHON

A linguagem de programação *Python* é de altíssimo nível (VHLL – Very High Level Language). Foi criada na década de 90 por Guido van Rossum no Instituto Nacional de Pesquisa para Matemática e Ciência da Computação da Holanda (CWI). A linguagem é gratuita, de código aberto e possui disponibilidade para *Windows*, *Linux*, *Mac*, *Palm*, celulares e outras infinidades de sistemas (LABAKI, 2006).

Todos os lançamentos do *Python* são *Open Source* (Código Aberto), com licença compatível com a *General Public License* (GPL), porém menos restritiva, permitindo que o *Python* seja inclusive incorporado em produtos proprietários. A especificação da linguagem é mantida pela *Python Software Foundation* (BORGES, 2010).

Segundo Lutz e Ascher (2007), as motivações para utilização dessa linguagem de programação são a qualidade do *software*, conferindo legibilidade, coerência e qualidade do *software* em geral; a produtividade do desenvolvedor, muitas vezes além do que conseguem as linguagens compiladas ou estaticamente tipadas, como C, C++ e Java; a portabilidade do programa, visto que a maioria dos programas em *Python* é executada sem necessidade de alteração das plataformas; as bibliotecas de suporte, que vem com um vasto conjunto de funcionalidades pré-compiladas e portáveis; e a integração de componentes que se comunicam facilmente com outras partes de um aplicativo.

Por outro lado, sua velocidade de execução pode nem sempre ser tão rápida quanto às linguagens compiladas, como C e C++. No entanto, o ganho de desenvolvimento do *Python* é frequentemente mais relevante do que qualquer perda na velocidade de execução, especialmente em face da velocidade dos computadores modernos.

## 3 | FÓRMULAS CLÁSSICAS DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Segundo Carvalho (2008), o sedimento é a partícula derivada das rochas, ou de materiais biológicos, que pode ser transportada por fluído; é o material sólido em suspensão na água ou depositado no leito. É originado da erosão na bacia e da erosão no próprio leito e margens. Nesse sentido, o aumento acelerado do uso do solo e do aproveitamento dos recursos hídricos somados à falta de planejamento urbano e rural teve como consequência a ocupação irregular do solo e a redução de matas ciliares e cobertura vegetal, acarretando, o aumento das erosões nas terras e do transporte sólido nos rios.

De acordo com Brito (2012), a erosão hídrica é uma das principais formas de degradação do solo, acarretando prejuízos de ordem econômica, ambiental e social.

Para Carvalho (2008), o termo “carga sólida” se refere ao fenômeno qualitativo do movimento, podendo ser em suspensão, de arrasto, em contato e saltante. O termo “descarga sólida” se refere, por sua vez, à quantidade de movimento. Os valores como descarga sólida em suspensão, de arrasto, total e outros parâmetros derivados dos

estudos aplicam-se em muitas áreas de estudos. Mais especificamente, o conhecimento da descarga sólida em suspensão e da concentração é muito importante nos estudos de tratamento de água para abastecimento e em estudos ambientais ligados à flora e à fauna fluvial. O valor da descarga de arrasto, por sua vez, é importante nos estudos de navegação, de morfologia fluvial e formação de depósitos; já o valor de descarga sólida total e de arrasto é importante nos estudos de construção de pontes, de obras fluviais em geral, como portos e tomadas d'água. Por fim, concentração e descarga em suspensão são importantes em estudos de irrigação.

Devido à complexidade da carga sólida do leito na natureza, existem vários métodos ou fórmulas para a sua determinação (CARVALHO et al., 2000). Segundo Stevens e Yang (1989), as taxas de descarga de sedimentos fluviais dependem de um considerável número de variáveis. Devido à variação delas, grande parte das fórmulas foi desenvolvida com base em uma ou duas variáveis dominantes. Em 1988, Yang descreveu as abordagens básicas utilizadas no desenvolvimento de fórmulas de transporte de sedimentos como deterministas, probabilísticas e de regressão (YANG, 1996).

A abordagem usual é correlacionar a concentração de sedimentos ou uma taxa de transporte adimensional com um parâmetro principal. Os resultados obtidos a partir das equações de cálculo de descarga sólida, geralmente diferem consideravelmente entre si e das observações no campo. Isso ocorre, porque foram estabelecidas em laboratório, em condições controladas (YANG, 1996). A seleção das equações mais adequadas para as diferentes condições ambientais e de fluxo de sedimentos consideram conceitos básicos de hidrossedimentologia e seus limites de aplicação desafiam o profissional nessa complexa tarefa. Segundo Carvalho et al. (2000), a descarga sólida depende de muitos fatores, tais como hidrológicos, geológicos e climáticos, tornando difícil a escolha do método ou da fórmula.

Diante do exposto, a automatização dos cálculos de descarga sólida, através de um *software*, economiza o tempo do pesquisador ou profissional, bem como concede segurança nos cálculos, tornando-se uma ferramenta importante no estudo do transporte de sedimentos.

Em 1989, foi apresentado o código computacional SEDDISCH para o cálculo do transporte de sedimentos, em linguagem Fortran 77, com apresentação em DOS e resultados em unidades inglesas (STEVENS e YANG, 1989). As fórmulas foram selecionadas baseadas no suporte teórico que apresentam e no grau de aplicação pelo autor e por outros técnicos, bem como no maior uso por engenheiros e pesquisadores (CARVALHO, 2008). Posteriormente, Hora (1996) adaptou o código para ambiente *Windows*, em *QBASIC*, criando uma interface gráfica, intitulada SEDIM 1.0, com resultados em unidades inglesas e no sistema métrico. O código computacional foi desenvolvido com o objetivo de calcular a vazão sólida do material do leito que se movimenta essencialmente por arraste (*bed-load*) e que se movimenta por arraste e suspensão (*bed-material*).

No entanto, a versão 1.0 apresenta problemas de incompatibilidade com os atuais sistemas operacionais. Dessa forma, a atualização do *software* se fez necessária, a fim de garantir a sua sobrevivência.

A versão 2.0 do Sedim apresenta 4 fórmulas representativas do material do leito que se movimenta essencialmente por arraste e 10 fórmulas que se movimenta por arraste e suspensão, descritas a seguir.

### **3.1. Fórmulas Clássicas Representativas do Material do Leito que se Movimenta Essencialmente por Arraste:**

- Fórmula de Schoklitsch (1934)
- Fórmula de Kalinske (1947)
- Fórmula de Meyer-Peter e Müller (1948)
- Fórmula de Rottner (1959)

### **3.2. Fórmulas Clássicas Representativas do Material do Leito que se Movimenta por Arraste e Suspensão**

- Fórmula de Laursen (1958)
- Fórmula de Engelund e Hansen (1967)
- Fórmula de Colby (1964)
- Fórmula de Ackers e White (1973)
  - D50
  - D35
- Fórmulas de Yang para Areais (1973)
  - D50
  - Classes Granulométricas
- Fórmulas de Yang para Areais e Cascalhos (1973)
  - D50
  - Classes Granulométricas
- Fórmula de Yang “Mixture”

## **4 | SEDIM 2.0**

O Sedim 2.0 foi desenvolvido para atender as necessidades de seus usuários e após ser colocado em operação, espera-se que ele tenha uma vida útil longa e produtiva, podendo ser aprimorado, através da contribuição de outros usuários, por exemplo. O *software* atende às necessidades e requisitos que motivaram a sua construção, ou seja, a atualização dos sistemas operacionais e a extração dos resultados em planilhas .xlsx.

No que tange a confiabilidade dos resultados, o *software* apresentou resultados muito próximos, senão iguais, à versão 1.0 (1996) e ao Seddisch (1989), permitindo inferir que o programa apresenta resultados consistentes.

A interface com o usuário é bastante intuitiva e de fácil entendimento, permitindo a sua operação com facilidade, como se pode observar na Figura 1.

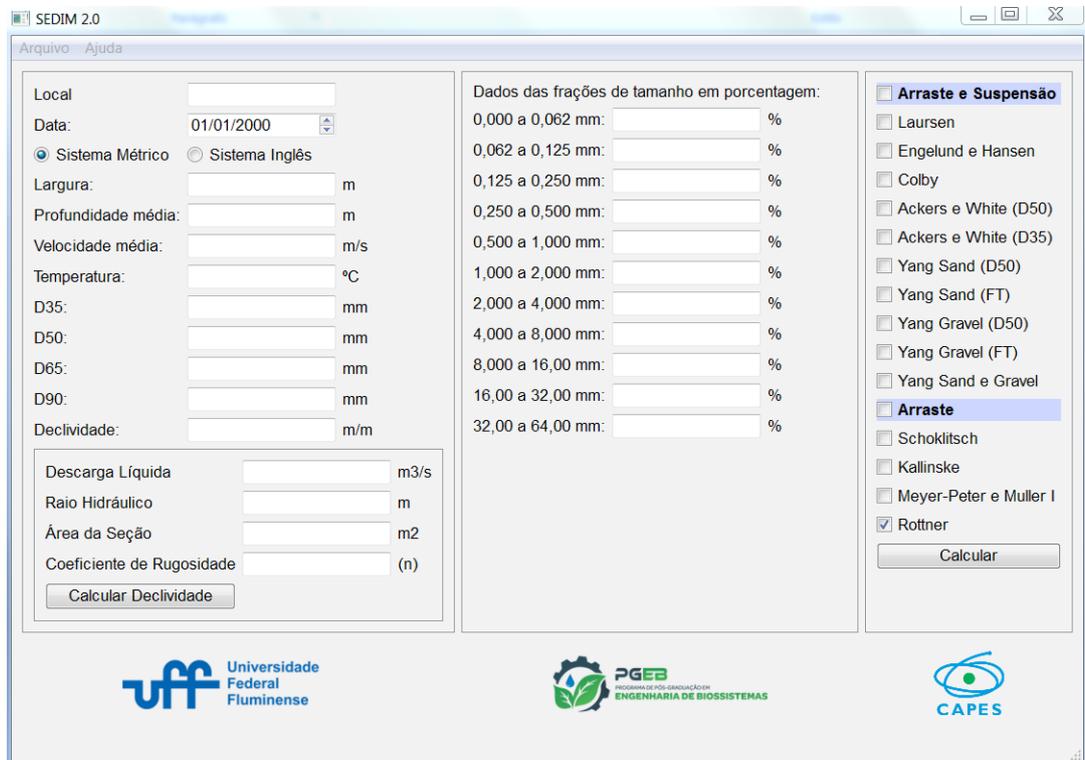


Figura 1: Interface Gráfica Sedim 2.0

Fonte: Campeão, 2017

No aspecto portabilidade, o programa está preparado para operar em *Windows* 64 e 32 bits e em *Linux*, garantindo vida útil ao *software*.

Devido à linguagem de programação utilizada, o *software* passa a ser livre, facilitando o acesso, permitindo a sua constante atualização, bem como a integração com outros programas já existentes.

O Sedim 2.0 foi produzido como uma versão básica, podendo ser atualizado para atender outros estudos e objetivos específicos. Isso significa que, de posse do seu código fonte, existem inúmeras possibilidades de novas implementações, desde que assegurados os termos e condições da licença GPL.

## 5 | CONCLUSÕES

O Sedim 2.0 foi desenvolvido em *Python*, por ser uma linguagem que confere qualidade ao *software*, produtividade ao desenvolvedor e portabilidade a outros sistemas operacionais. A atualização do programa representa uma importante contribuição no momento, considerando que a versão 1.0 apresenta dificuldade de

operação em computadores mais modernos.

A perpetuação do programa é de grande importância para os estudos hidro-sedimentológicos, economizando o tempo do profissional da área, oferecendo segurança nos resultados e minimizando os erros, diante da complexidade das fórmulas de cálculo de descarga sólida.

Sendo assim, o programa Sedim, que foi amplamente utilizado por vários anos, volta a ser compatível com os sistemas operacionais atuais e passa a ser livre.

O programa e seu código-fonte podem ser encontrados em Campeão (2017), no site GitHub (<https://github.com/>), bem como no livro Sedim 2.0 da Alternativa Editora.

## REFERÊNCIAS

BELING Fábio Alex; PAIVA, João Batista Dias de Paiva; SCAPIN, Juliana. **Avaliação de Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em um Pequeno Rio Urbano**. Santa Maria: RBRH, 2007. Disponível em : <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=17&SUMARIO=216>>. Acesso em: 20 de agosto 2018.

BORGES, Luiz Eduardo. **Python para Desenvolvedores**. 2. ed. Rio de Janeiro: edição do autor, 2010. 360p.

BRITO, Annanery de Oliveira. **Estudos da Erosão no Ambiente Urbano, Visando Planejamento e Controle Ambiental no Distrito Federal**. 2012. 77p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília.

CAMPEÃO, Roberta de Almeida Costa. **Ferramenta computacional para o cálculo do transporte de sedimentos, SEDIM 2.0**. 2017. 80p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biosistemas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

CARVALHO, Newton de Oliveira. **Hidrossedimentologia prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 768p.

CARVALHO, Newton de Oliveira; FILIZOLA JÚNIOR, Naziano Pantoja; SANTOS, Paulo Marcos Coutinho dos; LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck. **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília, DF: ANEEL, 2000. 154p.

CARVALHO, Newton de Oliveira; HORA, Mônica de Aquino Galeano Massera. **Hidrossedimentometria**. In: Cristiano Poletto (Org.). *Sedimentologia Fluvial: Estudos e Técnicas*. 1. ed. Porto Alegre: ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2014, p. 11-61.

DOWNEY, Allen. **Think Python**. California: O'Reilly Media, 2012. 278p.

HORA, Mônica de Aquino Galeano Massera. **Avaliação do Transporte de Sedimentos da Sub-bacia do Ribeirão do Rato, Região Noroeste do Estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996. 287p.

LABAKI, Josué. **Introdução a Python: Módulo A**. Grupo *Python*. UNESP. São Paulo, Ilha Solteira, 2006. Disponível em: <<http://www.dcc.ufrj.br/~fabiom/python/pythonbasico.pdf>>. Acesso em 10 abr. de 2018.

LUTZ, Mark; ASCHER, David. **Aprendendo Python**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 568p.

POLETO, Cristiano. **Ambiente e Sedimentos**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2008. 404p.

STEVENS, Herbert H. Jr; YANG, Chih Ted. **Summary and use of selected fluvial sediment-discharge formulas**: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations. Report 89-4026. Lakewood, Colorado, 1989. 121 p.

YANG, Chih Ted. **Sediment Transport – Theory and Practice**. Nova York: McGraw-Hill, 1996.

## AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO DESEMPENHO DE UM CICLONE ADAPTADO COM BOCAIS ATOMIZADORES DE ÁGUA PARA COLETAR MATERIAL PARTICULADO PROVENIENTE DA QUEIMA DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR

**Ana Elisa Achilles**

Universidade Federal de São Carlos,  
Departamento de Engenharia Química

\*e-mail: anaachiles@hotmail.com

**Vádila Giovana Guerra Béttega**

Universidade Federal de São Carlos,  
Departamento de Engenharia Química

\*e-mail: anaachiles@hotmail.com

**RESUMO:** O Brasil é um dos líderes na produção de açúcar e etanol a partir da cana-de-açúcar. Contudo, para suprir as demandas energéticas do setor, esse bagaço é utilizado como combustível e sua queima gera uma quantidade significativa de materiais particulados que são altamente nocivos à saúde humana. Assim, visando controlar a emissão desse poluente, faz-se necessário utilizar equipamentos eficientes para tratamento de gás. Dessa forma, este trabalho investigou o desempenho de um ciclone adaptado com bocais atomizadores de água para remover material particulado, composto por cinzas, oriundas da queima do bagaço da cana, de diâmetro volumétrico mediano de 7,47  $\mu\text{m}$ . Nos testes foram avaliadas a eficiência global de coleta e a queda de pressão. Os experimentos foram conduzidos em três condições distintas, variando a velocidade do ar na entrada do ciclone, a concentração de pó na alimentação e as razões líquido-gás

(L/G). O estudo demonstrou que atomizar água no interior do ciclone aumenta sua eficiência global de separação quando comparada com sua operação a seco, sem prejudicar sua queda de pressão, elevando sua eficiência de 81 para 95%, com a utilização de uma L/G de 0,10 L/m<sup>3</sup> e diminuindo, ligeiramente, sua queda de pressão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ciclone, Lavador de Gás, Material Particulado, Poluição do Ar

**ABSTRACT:** Brazil is one of the leaders in the production of sugar and ethanol from sugarcane. However, in order to supply the energy demands of the industry, the bagasse is used as a fuel and its burning generates a significant amount of particulate matter that is highly harmful to human health. Thus, to control the emission of this pollutant, it is necessary to use efficient equipments for gas treatment. Therefore, this work aims to investigate the performance of a cyclone adapted with water spray nozzles to remove particulate matter, composed of ash resulting from the burning of sugarcane bagasse, which has a median volume diameter of 7.47  $\mu\text{m}$ . In the tests, the overall collection efficiency and pressure drop were evaluated. The experiments were conducted under three different conditions, varying the velocity of the air at the cyclone inlet, the concentration of powder in the feed and the liquid-gas (L/G)

ratios. The study showed that atomizing water inside the cyclone increases its overall separation efficiency when compared to its dry operation, without affecting its pressure drop, increasing its efficiency from 81 to 95%, using a L/G of 0,10 L/m<sup>3</sup> and slightly decreasing its pressure drop.

**KEYWORDS:** Cyclone, Gas Scrubber, Particulate Matter, Air Pollution

## INTRODUÇÃO

A degradação ambiental, aliada ao fato das fontes de combustíveis fósseis serem finitas, fez com que as fontes de energia renováveis e mais limpas ganhassem mais espaço no cenário mundial, em especial aquelas provenientes da biomassa. De acordo com a UNICA (2017), a biomassa foi a segunda fonte de geração energética mais importante na Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) em 2016, destacando-se a energia oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar, a qual contribuiu com 67% desta parcela, evidenciando o potencial produtivo e energético do setor sucroalcooleiro no Brasil.

Dessa forma, para tornar a produção deste segmento industrial economicamente viável, faz-se necessária a aplicação de um sistema para suprir a demanda energética do processo, denominado por cogeração energética, no qual o bagaço da cana-de-açúcar é utilizado como combustível, em caldeiras de biomassa, com o propósito de gerar energia elétrica e formas usuais de energia térmica (Clementino, 2011).

Todavia, como efeito negativo, a queima do bagaço da cana-de-açúcar é responsável por gerar diversos poluentes gasosos, sendo que a maior parte destes consiste em materiais particulados (Cheng, 2009). Assim, visando controlar a emissão de material particulado, é imprescindível a utilização de equipamentos habilitados em tratamento de gás, como por exemplo, os ciclones e os lavadores de gás.

Os ciclones são equipamentos estáticos que empregam a força centrífuga a fim de separar a fase densa de um fluxo bifásico (Momenzadeh e Moghimann, 2010). Com isso, são largamente utilizados para coletar partículas sólidas de correntes gasosas em diversos processos industriais em virtude de sua construção ser relativamente simples; apresentar baixos custos de manutenção e ausência de partes móveis; além de ser capacitado para operar em ambientes corrosivos (Brar *et al.*, 2015). No entanto, estes dispositivos possuem como desvantagem uma baixa eficiência de coleta para partículas menores que, aproximadamente, 5 µm (Iozia e Leith, 1989).

Já com relação aos lavadores de gás, embora uma de suas vantagens seja remover, com alta eficiência, partículas finas; estes são caracterizados por gerar um efluente líquido contendo todo o material coletado e, geralmente, possuem um maior custo de operação quando comparado com os ciclones convencionais (Lora, 2002).

Diante das desvantagens apresentadas pelo uso dos ciclones convencionais e das limitações oferecidas pelos lavadores de gás, surge então a concepção do ciclone

úmido. Este equipamento consiste em um separador ciclônico convencional adaptado com bocais atomizadores de líquido, usualmente a água, utilizados para promover um aumento da eficiência de coleta de partículas finas. Dessa forma, o ciclone úmido combina as vantagens de um ciclone convencional: construção relativamente simples, baixo custo de investimento e alta confiabilidade; com os benefícios de um lavador de gás, como a alta eficiência de coleta para material particulado de diâmetros da ordem de submicron (Krames e Büttner, 1994).

Segundo Yang e Yoshida (2004), o desempenho do ciclone úmido vai depender fortemente do método de injeção do líquido no interior do equipamento, das dimensões das gotas formadas, bem como da distribuição do fluxo e do momento inicial do líquido. Dessa maneira, diversos pesquisadores vêm conduzindo pesquisas a fim de avaliar o desempenho do ciclone úmido na coleta de materiais particulados alterando estas variáveis, como demonstrados pelos estudos de Krames e Büttner (1994); Yang e Yoshida (2004); Majewski (2006); Lee *et al.* (2008); Chiabai Junior (2014) e Alves (2017).

Com isso, este estudo visa investigar o desempenho de um ciclone adaptado com bocais atomizadores de água para a coleta de materiais particulados (MP) finos gerados pela queima do bagaço da cana-de-açúcar por meio da utilização de baixas razões líquido-gás (L/G) e compará-lo com o do ciclone operando a seco sob as mesmas condições experimentais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O esquema simplificado do aparato experimental utilizado na realização dos testes experimentais pode ser visualizado na Figura 1.

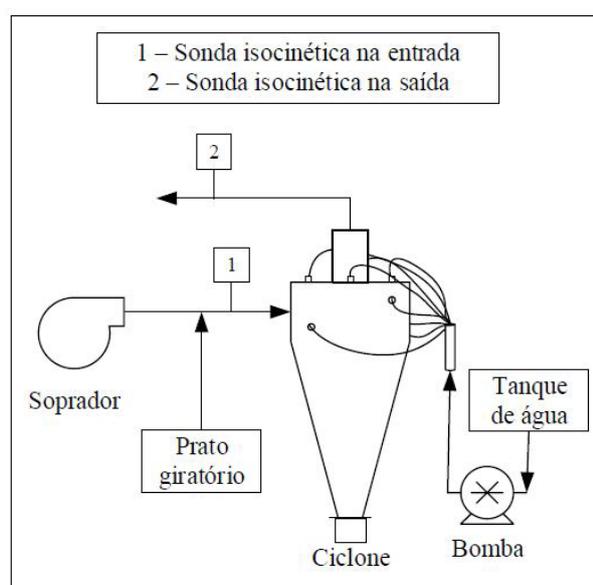


Figura 1: Aparato experimental.

Neste sistema, a corrente gasosa contendo apenas ar limpo foi alimentada através de um soprador e o material particulado por meio de um prato giratório, o qual tinha a sua velocidade de rotação controlada por um variador de velocidade e utilizava ar comprimido para arrastar o pó. Dessa maneira, o gás contendo partículas sólidas era direcionado para um ciclone do tipo Stairmand (1951) adaptado com bocais injetores de água. A alimentação de água foi realizada a partir de uma bomba de deslocamento positivo, a qual transportava a água contida em um tanque de água para os bocais conectados na parede do ciclone. Após a passagem pelo ciclone, a maior parte do material particulado mais a água injetada pelos bocais (quando o equipamento era operado a úmido) eram coletadas na parte inferior do ciclone em uma caixa coletora, enquanto que o ar limpo e uma pequena parcela de material particulado não coletada fluíam pela saída de topo conectada a um duto de saída. A concentração de material particulado contida na corrente gasosa foi medida tanto no duto de entrada quanto no de saída, simultaneamente, a fim de calcular a eficiência global do ciclone. Para efetuar esta aferição, foi coletada, isocineticamente, uma amostragem do pó de entrada (1) e de saída (2) por meio de sondas isocinéticas posicionadas no centro desses dutos de forma contrária ao sentido da corrente gasosa. As bases das sondas foram conectadas a membranas coletoras, as quais estavam contidas em suportes para onde o material particulado era arrastado e, posteriormente, coletado.

O ciclone empregado na realização dos testes experimentais é classificado como ciclone de entrada tangencial e fluxo reverso e suas configurações geométricas foram estabelecidas por Stairmand (1951). Além disso, com o propósito de aumentar a eficiência de coleta deste equipamento, foram adicionados oito bocais pulverizadores de água dispostos ao longo da sua parede. As Figuras 2 e 3 apresentam o ciclone utilizado nos experimentos com suas dimensões (em mm) e a disposição dos bocais injetores de água na parede do mesmo, respectivamente.

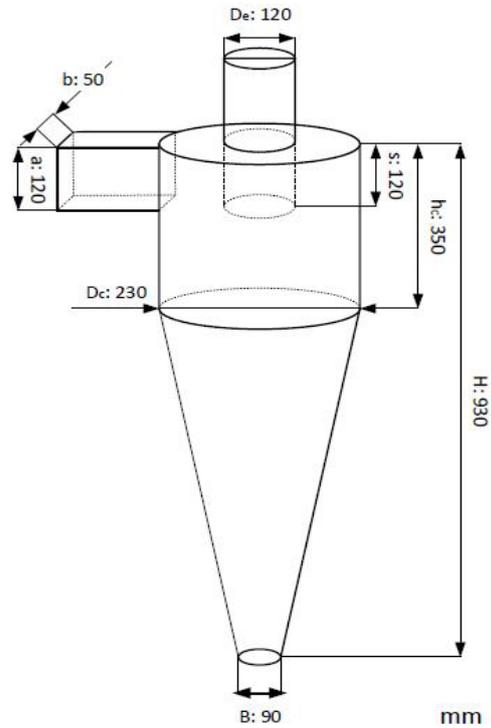


Figura 2: Ciclone experimental (em mm).

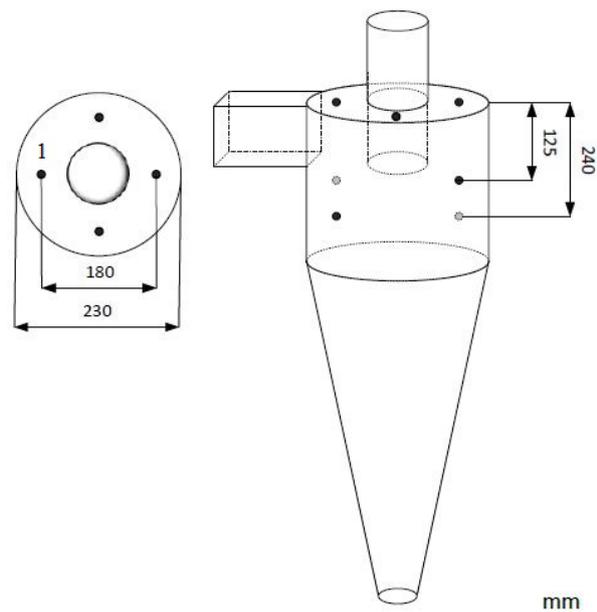


Figura 3: Disposição dos bocais (em mm).

Para a realização dos testes experimentais a úmido, foi utilizado apenas o bocal pulverizador 1, localizado na parede superior do corpo cilíndrico do ciclone perpendicular à entrada do gás no equipamento, como indicado na Figura 3.

## Parâmetros Operacionais

A Tabela 1 exibe os parâmetros operacionais empregados neste estudo para o ciclone operando no modo seco.

Condição experimental	Vazão de gás $Q_g$ (m <sup>3</sup> /min)	Velocidade de entrada no ciclone (m/s)	Concentração de MP na entrada (g/m <sup>3</sup> )
1	4,89	13,57	0,42
2	3,88	10,71	0,49
3	2,89	8,02	0,66

Tabela 1: Parâmetros operacionais para o ciclone operando a seco.

Já para o ciclone operando a úmido, as condições experimentais apresentadas na Tabela 1 se mantiveram constantes. No entanto, adicionou-se no sistema, através do bocal pulverizador 1, uma vazão constante de água de 0,47 L/min. Com isso, as razões L/G para cada condição experimental estão apresentadas na Tabela 2.

Condição experimental	L/G (L/m <sup>3</sup> )
1	0,10
2	0,12
3	0,16

Tabela 2: Razões líquido-gás (L/G) para o ciclone operando a úmido para cada condição experimental.

## Material Particulado

O material particulado utilizado nos testes experimentais consistia de cinzas provenientes da queima do bagaço da cana-de-açúcar, adquiridas em uma usina localizada no Estado de São Paulo. A determinação da distribuição volumétrica granulométrica e da densidade deste material particulado foi realizada por meio do equipamento Malvern Mastersize Microplus e de um picnômetro de gás Hélio, respectivamente.

## Bocais Atomizadores

Os bocais empregados neste trabalho são classificados por serem atomizadores de pressão, ou seja, aqueles que convertem a pressão de um fluido em energia cinética (Lefebvre, 1989), sendo do tipo *pressure swirl*, no qual o líquido deixa o orifício na forma de um cone oco produzindo gotas uniformemente atomizadas. Estes dispositivos foram confeccionados com núcleos de cerâmica técnica, o que permite uma elevada resistência para todos os tipos de produtos químicos e alta precisão da taxa de vazão, e produz cones ocas com uma angulação de 90°.

A fim de caracterizar a distribuição do tamanho das gotas geradas, fez-se o uso do analisador de partículas Malvern Spraytech, o qual utiliza a técnica de difração de

raios laser, como mostrado na Figura 4.

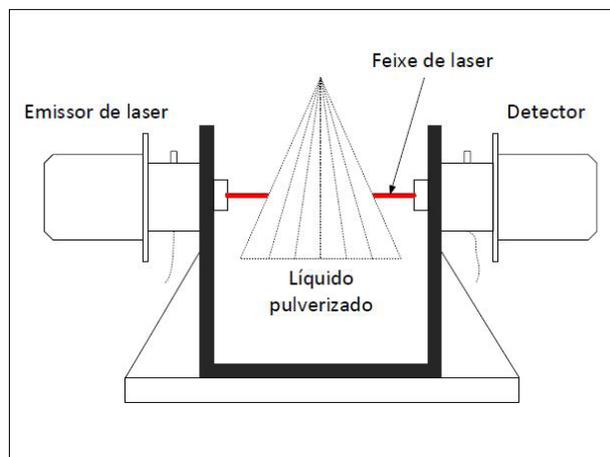


Figura 4: Esquema do Malvern Spraytech.

Neste equipamento, a luz laser é gerada através de um gerador Hélio-Neon de 3mW de potência. O feixe de luz é expandido por uma lente e, ao passar pelo spray pulverizador, parte de sua energia luminosa é difratada com ângulos distintos, sendo possível assim obter a distribuição de tamanho de gotas proporcionada pelo bocal, já que o ângulo de difração é inversamente proporcional ao tamanho da gota (Guerra, 2009). Em seguida, a luz passa por uma lente de Fourier, a qual é responsável por direcionar os raios de mesma angulação sobre um mesmo ponto no plano focal. Dessa forma, conhecendo-se esse ponto de convergência, é possível determinar o ângulo de difração e, conseqüentemente, o tamanho das gotas que ocasionaram essa difração. No detector, há um conjunto de 31 semianéis concêntricos os quais, por serem constituídos por um material fotossensível, têm a função de converter a energia luminosa que incide sobre cada semianel em uma corrente elétrica. Esta corrente gera um sinal analógico que é convertido em sinal digital antes de ser enviado a um computador de aquisição de dados. Por fim, com um programa adequado, o qual utiliza equações desenvolvidas por Swithenbank (1976), os sinais digitais são convertidos em uma distribuição de tamanho de gotas.

A caracterização do tamanho das gotas geradas pelos bocais empregados neste estudo foi efetuada de acordo com o esquema representado na Figura 5.

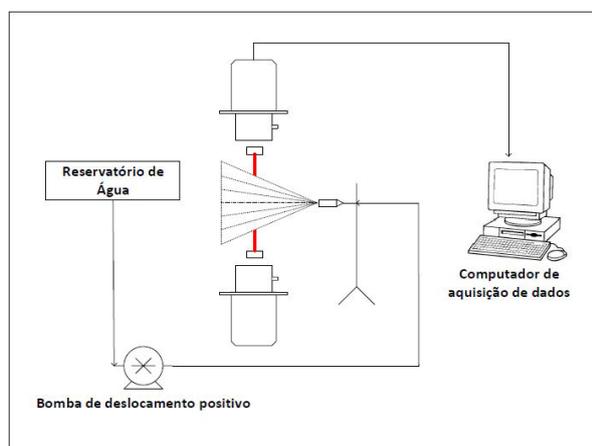


Figura 5: Esquema para caracterizar a distribuição do tamanho das gotas.

Neste sistema, o bocal atomizador foi acoplado a um suporte, o qual foi posicionado de modo que o feixe de laser incidisse no centro do cone de gotas atomizadas formado pelo spray. Assim, utilizando uma bomba de deslocamento positivo e um controlador de fluxo de água, foi possível promover a atomização das gotas com a vazão requerida pelo trabalho. A distribuição do tamanho das gotas foi obtida com o bocal situado em três distâncias diferentes em relação ao feixe de laser: 5, 15 e 30 cm, com o intuito de verificar o comportamento do tamanho das gotas à medida que o líquido pulverizado se afastava do orifício do bocal.

## PERFIL DE VELOCIDADE

A determinação do perfil de velocidade do gás se deu nos dutos de entrada e de saída, por meio de um tubo de Pitot acoplado a um manômetro digital, nos locais onde foram realizadas as amostragens isocinéticas, uma vez que para efetuar uma amostragem isocinética representativa de uma corrente gasosa com material particulado em dutos fechados, deve-se verificar se o fluxo de gás está uniforme (Costa, 1998). Além disso, foi necessário verificar a uniformidade do fluxo gasoso no duto onde a pressão estática de saída foi aferida a fim de se garantir que o mesmo estivesse estabilizado.

## EFICIÊNCIA GLOBAL DE COLETA

De forma simplificada, a eficiência de coleta global é definida como sendo a razão entre a concentração de massa de sólidos coletados e a concentração mássica de sólidos alimentados no interior do ciclone, expressa pela Equação 1.

$$\eta = \frac{C_i - C_o}{C_i} \quad (1)$$

Sendo  $C_i$  e  $C_o$  as concentrações das partículas na corrente gasosa de entrada e de saída.

Para realizar a aferição da concentração do pó na corrente gasosa, utilizou-se o método da amostragem isocinética, o qual consiste em reter materiais particulados de uma corrente gasosa por meio de uma sonda e é realizada em condições tais que o fluxo de gás no bocal da sonda tenha a mesma velocidade que a vazão de gás que se pretende analisar (NBR 12019, 1990).

O sistema de amostragem isocinética era constituído por duas sondas metálicas em L, bombas de sucção para efetuar a coleta do material particulado nos dutos de entrada e de saída do equipamento, rotâmetros para controlar a vazão das bombas e suportes contendo membranas coletoras.

As membranas utilizadas para coletar o material particulado eram compostas por acetato de celulose e possuíam 47 mm de diâmetro e uma porosidade de 0,8  $\mu\text{m}$ . As massas das membranas foram medidas antes e após a coleta do material particulado.

Com o propósito de manter a velocidade nos bocais das sondas de forma isocinética, as vazões das bombas de sucção foram controladas através de rotâmetros e suas vazões de operação foram determinadas fazendo-se o uso da Equação 2.

$$Q_b = \frac{\pi d_{bs}^2}{4} v_g \quad (2)$$

Em que  $Q_b$  corresponde à vazão de sucção da bomba;  $d_{bs}$  ao diâmetro do bocal da sonda e  $v_g$  à velocidade do gás no ponto de aferição.

Finalmente, para obter a concentração de material particulado tanto na entrada quanto na saída do ciclone, utilizou-se a Equação 3.

$$C_{i,o} = \frac{m_{i,o}}{Q_b t_a} \quad (3)$$

Na qual  $m_{i,o}$  é a massa de material particulado retida na entrada e na saída do equipamento e  $t_a$  é o tempo de amostragem.

### Queda de Pressão

A perda de carga ( $\Delta P$ ) no ciclone é determinada pela diferença entre a pressão estática no duto de entrada e no duto de saída conforme a Equação 4.

$$\Delta P = P_i - P_o \quad (4)$$

Em que  $P_i$  e  $P_o$  correspondem às pressões estáticas nos dutos de entrada e de saída, respectivamente.

Dessa maneira, a fim de determinar a queda de pressão oferecida pelo ciclone em operação, foi aferida a diferença entre as pressões estáticas de entrada e de saída no equipamento para todas as condições experimentais com o auxílio de um manômetro em U. A pressão estática de entrada foi medida logo na entrada do ciclone. Já a pressão estática de saída foi aferida no duto de saída em um local onde o fluxo gasoso estivesse estabilizado.

Os resultados de queda de pressão obtidos foram comparados com os valores teóricos propostos pela correlação de Shepherd e Lapple (1939), a qual está expressa pela Equação 5.

$$\Delta P = 8\rho_G v_i \left( \frac{ab}{D_e^2} \right) \quad (5)$$

Na qual  $\rho_g$  é a densidade do gás;  $v_i$  é a velocidade da corrente gasosa na entrada do ciclone; e os parâmetros  $a$ ,  $b$  e  $D_e$  são as dimensões geométricas do ciclone demonstradas na Figura 2.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização do Material Particulado

A Figura 6 mostra a curva de frequência cumulativa volumétrica das cinzas utilizadas nos testes experimentais.

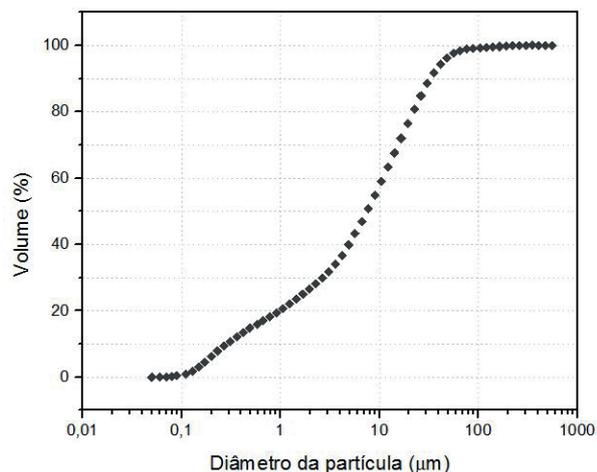


Figura 6: Frequência cumulativa volumétrica do material particulado.

O diâmetro mediano volumétrico ( $d_{p50}$ ) das cinzas foi de  $7,47 \mu\text{m}$  e a densidade obtida foi de  $2,51 \text{ g/cm}^3$ .

## CARACTERIZAÇÃO DOS BOCAIS ATOMIZADORES

A distribuição da frequência volumétrica do tamanho das gotas geradas com o bocal atomizador localizado a 5 cm do feixe de laser e com uma vazão de 0,40 L/min de água está contida na Figura 7.

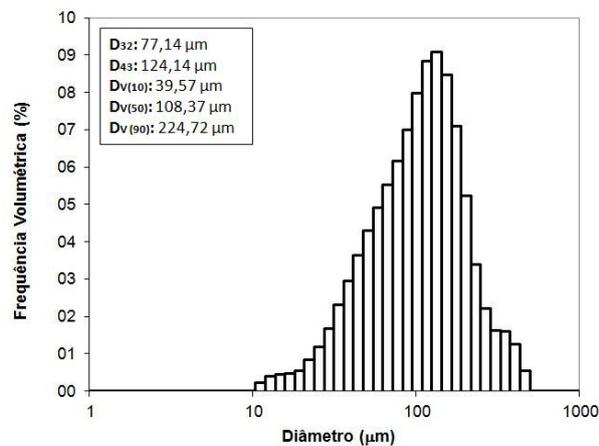


Figura 7: Distribuição do tamanho das gotas.

Os diâmetros médios de Sauter das gotas aferidos para cada posicionamento do bocal atomizador em relação ao feixe de laser estão expostos na Tabela 3.

Posição	Diâmetro médio de Sauter ( $D_{32}$ )
5 cm	77,14 $\mu\text{m}$
15 cm	87,14 $\mu\text{m}$
30 cm	120,51 $\mu\text{m}$

Tabela 3: Diâmetros médios de Sauter das gotas para cada posição do bocal.

De acordo com os dados contidos na Tabela 3, é possível observar que os tamanhos das gotas aumentaram à medida que o líquido se distanciava do orifício pelo qual este deixava o atomizador. Esse comportamento pode ser atribuído ao momento inicial do líquido, o qual era alto quando este deixava o bocal com uma velocidade elevada, atomizando-o em menores tamanhos. Ao passo que o líquido atomizado se afastava do orifício em formato de um cone oco, possivelmente as gotas se aglomeravam e, conseqüentemente, aumentavam de tamanho.

## EFICIÊNCIA GLOBAL DE COLETA: OPERAÇÃO A SECO

As eficiências globais de coleta com o ciclone operando a seco para cada condição experimental estão demonstradas na Tabela 4.

Condição experimental	Eficiência global de coleta ( $\eta_g$ )
1	0,81
2	0,78
3	0,75

Tabela 4: Eficiências de coleta globais para o ciclone operando a modo seco.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 4, é possível analisar que a condição experimental 1, a qual foi executada aplicando uma maior velocidade de entrada da corrente gasosa no ciclone, apresentou uma eficiência de coleta global mais elevada que as condições experimentais que foram realizadas com velocidades de entrada menores. Este comportamento já foi evidenciado por Leith e Mehta (1973), os quais mencionam que a eficiência de coleta de um separador ciclônico é mais alta quando há um aumento na velocidade de rotação no vórtice do ciclone.

## EFICIÊNCIA GLOBAL DE COLETA: OPERAÇÃO A ÚMIDO

A Figura 8 apresenta o comparativo entre as eficiências de coleta globais com o ciclone operando no modo seco e úmido para cada condição experimental.

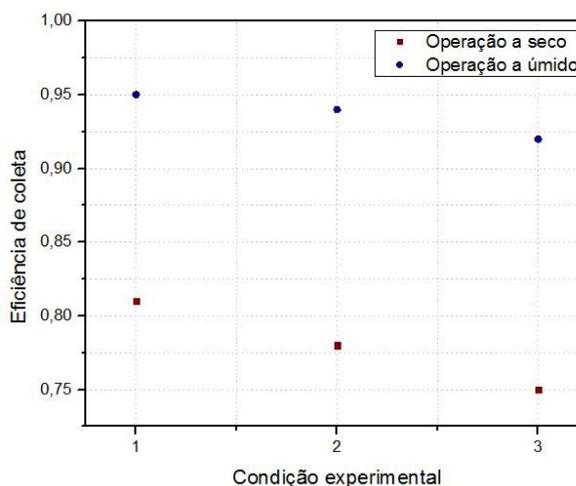


Figura 8: Eficiências de coleta globais para o ciclone operando a seco e a úmido.

Avaliando os resultados demonstrados no gráfico da Figura 8, observa-se que, para todas as condições experimentais, houve um aumento significativo nas eficiências de coleta globais ao promover a pulverização de água no interior do ciclone. Estes aumentos estão mostrados na Tabela 5.

Condição experimental	Eficiência a seco ( $\eta_s$ )	Eficiência a úmido ( $\eta_u$ )	Aumento na eficiência
1	0,81	0,95	14%
2	0,78	0,94	16%
3	0,75	0,92	17%

Tabela 5: Aumento nas eficiências de coleta globais.

Semelhantemente ao comportamento do ciclone operando no modo seco, a condição experimental que apresentou a maior eficiência global de coleta, quando se introduziu água no equipamento, foi a condição 1. No entanto, a partir dos dados contidos na Tabela 5, verifica-se que a condição que apresentou um maior aumento em sua eficiência foi a 3, em virtude da maior razão líquido-gás empregada.

Para promover uma melhor avaliação do comportamento do ciclone operando no modo úmido, serão realizados mais experimentos, inclusive analisando a eficiência de coleta fracionária para cada condição. Todavia, já é possível observar que, quando se adiciona líquido no interior do ciclone, mesmo para baixas razões L/G, há um incremento significativo em sua eficiência de separação de partículas, uma vez que além da ação da força centrífuga, mecanismo de coleta característico dos separadores ciclônicos, há também os mecanismos de captura típicos de lavadores agindo sobre o material particulado, os quais são: impactação inercial, interceptação e difusão.

Além disso, Chiabai Junior (2004), descreve, em sua pesquisa sobre o desempenho do ciclone úmido para a remoção de particulados, que o aumento da eficiência de coleta nesses dispositivos se dá por dois principais fenômenos: a adição de um corpo coletor e a eliminação do rebatimento das partículas. No primeiro, as gotas geradas no corpo do ciclone atuam como uma resistência ao fluxo gasoso, isto é, as partículas mais finas que não seriam coletadas com o equipamento operando a seco, colidem ou aderem à superfície das gotas, tendo as suas massas aumentadas. Esse acréscimo nas massas das partículas é responsável por elevar a inércia das mesmas, fazendo com que a força centrífuga do ciclone se torne mais eficaz. Já o segundo fenômeno refere-se ao fato de que, ao se introduzir água no interior do ciclone, gera-se um filme líquido na parede interna do equipamento. Este filme reduz a energia de impacto das partículas na parede, evitando que estas sejam ricocheteadas e direcionadas para a corrente gasosa de saída.

Por fim, a Tabela 6 realiza um comparativo entre os resultados determinados neste trabalho com os resultados obtidos pelo estudo realizado por Alves (2017), o qual investiga o mesmo equipamento que está sendo avaliado no presente trabalho para remover material particulado proveniente da queima do bagaço da cana-de-açúcar em condições semelhantes à condição experimental 1.

Estudo	$Q_g$ (m <sup>3</sup> /min)	$d_{p50}$ ( $\mu$ m)	$\eta_s$	$\eta_u$	L/G (L/m <sup>3</sup> )
Atual	4,89	7,47	0,81	0,95	0,10
Alves (2017)	4,28	9,00	0,82	0,97	2,53

Tabela 6: Resultados comparativos entre o trabalho atual e o de Alves (2017).

Assim, por meio da Tabela 6, nota-se que Alves (2017) utilizou uma razão líquido-gás, aproximadamente, 28 vezes maior que a empregada na condição experimental 1 para atingir eficiências globais de coletas semelhantes. Esta diferença pode ser atribuída aos diferentes tipos de bocais utilizados nos trabalhos. No estudo de Alves (2017), foram empregados bocais atomizadores por pressão do tipo leque, com ângulos de abertura de 110°. Todavia, os tamanhos das gotas produzidas por este dispositivo ( $D_{32} > 300 \mu\text{m}$ ) eram maiores que as gotas utilizados no presente trabalho, evidenciando que a distribuição do tamanho das gotas influencia, significativamente, os equipamentos de coleta de material particulado e, dessa forma, deve ser estudado com maior cautela.

## AVALIAÇÃO DA QUEDA DE PRESSÃO

A queda de pressão experimental proporcionada pelo ciclone operando no modo seco e os seus respectivos valores teóricos estão apresentados na Tabela 7.

Condição experimental	$\Delta P_{\text{exp}}$ (Pa)	$\Delta P_{\text{teo}}$ (Pa)	Erro relativo (%)
1	657,05	666,06	1,35
2	411,88	428,79	3,94
3	215,75	244,86	11,89

Tabela 7: Resultados experimentais e teóricos de queda pressão e seus respectivos erros relativos para o ciclone operando a seco.

Considerando os dados expressos na Tabela 7, observa-se que a queda de pressão aumenta quanto maior for a velocidade do gás na entrada do ciclone. Além disso, nota-se que os resultados experimentais foram próximos dos valores teóricos propostos pelo modelo de Shepherd e Lapple (1939), apresentando erros relativos baixos (menores que 5%) para as condições experimentais que empregaram maiores velocidades de entrada (1 e 2). Já para a condição 3, o aumento do erro relativo pode estar associado à diminuição da precisão do equipamento de medida de queda de pressão quando se trabalha com baixas velocidades.

Com relação ao ciclone operando com a injeção de água, o gráfico da Figura 9 ilustra os resultados de queda pressão obtidos comparados com os do ciclone operando no modo seco.

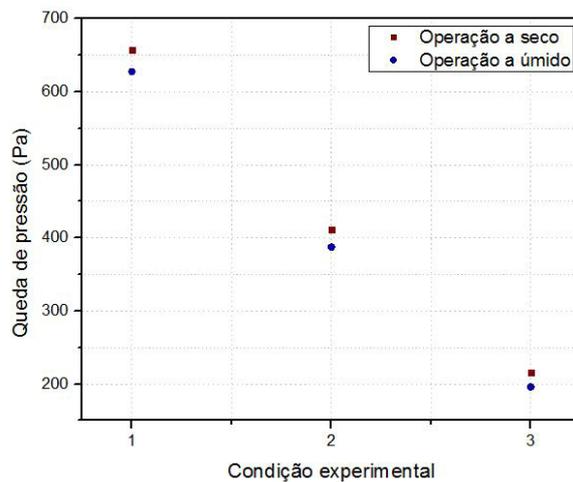


Figura 9: Resultados de queda de pressão para o ciclone operando nos modos seco e úmido.

Analisando os resultados de queda de pressão exibidos na Figura 9, verifica-se que as quedas de pressão para o ciclone úmido, apesar de serem ligeiramente menores, foram próximas dos valores obtidos para o ciclone operando a seco. Entretanto, ainda é necessário um estudo mais aprofundado a fim de avaliar se esta diminuição está relacionada com a precisão do equipamento de medida ou se a injeção de água no interior do equipamento está influenciando este comportamento.

## CONCLUSÃO

Este estudo comprovou que a atomização de água no interior do ciclone melhora o seu desempenho, aumentando, significativamente, a sua eficiência global de coleta para materiais particulados provenientes da queima do bagaço da cana-de-açúcar, sem comprometer a sua queda de pressão. Além disso, os resultados demonstraram a importância de se avaliar a distribuição do tamanho de gotas em coletores úmidos a fim de se atingir melhores eficiências de separação, por meio da utilização de baixas razões líquido-gás.

## NOMENCLATURA

- $a$   $\equiv$  altura da entrada do ciclone [m];
- $b$   $\equiv$  largura da entrada do ciclone [m];
- $B$   $\equiv$  diâmetro da base cônica do ciclone [m];
- $C_i$   $\equiv$  concentração de sólidos na entrada [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];
- $C_o$   $\equiv$  concentração de sólidos na saída [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];
- $D_{32}$   $\equiv$  diâmetro médio de Sauter [m];
- $d_{bs}$   $\equiv$  diâmetro do bocal da sonda isocinética [m];
- $D_c$   $\equiv$  diâmetro do corpo cilíndrico do ciclone [m];

$D_e$   $\equiv$  diâmetro do duto de saída do ciclone [m];  
 $\Delta P$   $\equiv$  queda de pressão no ciclone [kg/ms<sup>2</sup>];  
 $\Delta P_{exp}$   $\equiv$  queda de pressão experimental no ciclone operando a seco [kg/ms<sup>2</sup>];  
 $\Delta P_{teo}$   $\equiv$  queda de pressão teórica no ciclone operando a seco [kg/ms<sup>2</sup>];  
 $d_{p50}$   $\equiv$  diâmetro mediano volumétrico da partícula [m];  
 $H$   $\equiv$  altura total do ciclone [m];  
 $h_c$   $\equiv$  altura do corpo cilíndrico do ciclone [m];  
 $L/G$   $\equiv$  razão líquido-gás [L/m<sup>3</sup>];  
 $m_i$   $\equiv$  massa de sólidos retida na entrada [kg];  
 $m_o$   $\equiv$  massa de sólidos retida na saída [kg];  
 $MP$   $\equiv$  material particulado [-];  
 $\eta$   $\equiv$  eficiência global de coleta [-];  
 $\eta_s$   $\equiv$  eficiência global de coleta a seco [-];  
 $\eta_u$   $\equiv$  eficiência global de coleta a úmido [-];  
 $P_i$   $\equiv$  pressão estática na entrada do ciclone [kg/ms<sup>2</sup>];  
 $P_o$   $\equiv$  pressão estática na saída do ciclone [kg/ms<sup>2</sup>];  
 $Q_b$   $\equiv$  vazão de sucção da bomba [m<sup>3</sup>/s];  
 $Q_g$   $\equiv$  vazão da corrente gasosa [m<sup>3</sup>/s];  
 $\rho_g$   $\equiv$  densidade do gás [kg/m<sup>3</sup>];  
 $S$   $\equiv$  altura do duto de saída do ciclone [m];  
 $t_a$   $\equiv$  tempo de amostragem isocinética [s];  
 $v_g$   $\equiv$  velocidade do gás no ponto de amostragem [m/s];  
 $v_i$   $\equiv$  velocidade do gás na entrada do ciclone [m/s].

## REFERÊNCIAS

ALVES, A. C. M. (2017), **Otimização dos Processos de Separação de um Ciclone Adaptado com Pulverizadores de Água**. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 127 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Química).

BRAR, L. S.; SHARMA, R. P.; ELSAYED K. (2015), “**The effect of the cyclone length on the performance of Stairmand high efficiency cyclone**”, Powder Technology p. 668-677.

CHENG, J. J. (2009), Biomass to Renewable Energy Processes. Boca Raton (FL): CRC Press.

CHIABAI JUNIOR, J. C. (2014), **Avaliação do Desempenho de um Ciclone Staimand Adaptado com Bicos de Injetores de Água**. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 75 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Química).

CLEMENTINO, L. D. (2001), **A Conservação da Energia por meio da Co-Geração de Energia Elétrica**. São Paulo: Editora Érica.

COSTA, M. A. M. (1998), **Amostragem de Partículas Dispersas em Correntes Gasosas Confinadas**. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 138 p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Química).

GUERRA, V. G. (2009), **Investigação do Efeito de Injeção de Líquido por Orifícios Múltiplos na Formação de Gotas em um Lavador Venturi**. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 154 p. (Tese de Doutorado em Engenharia Química).

IOZIA, D. L.; LEITH, D. (1989), “**Effect of dimensions on gas flow pattern and collection**

**efficiency**”, *Aerosol Science and Technology*, v.10, p. 491-500.

KRAMES, J.; BÜTTNER, H. (1994), “**The Cyclone Scrubber – a High Efficiency Wet Separator**”. *Chemical Engineering Technology*, vol. 17, p. 73-80.

LEE, B.-K.; JUNG, K.-R.; PARK, S.-H. (2008), “**Development and application of a novel swirl cyclone scrubber - (1) Experimental**”. *Journal of Aerosol Science*, p. 1079-1088.

LEFEBVRE, A. H. (1989), “**Atomization and Sprays**”. West Lafayette, Indiana: Taylor & Francis, 421 p.

LEITH, D.; MEHTA, D. (1973), “Cyclone performance and design”, *Atmospheric Environment Pergamon Press*, v. 7, p. 527 -549.

LORA, E. E. S. (2002), **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético**, Industrial e de Transportes. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed.Interciência, 481 p.

MAJEWSKI, R. (2006), **Projeto, Construção e Avaliação Experimental de um Lavador de Gases Industriais**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 126 p. (Tese de Doutorado em Engenharia Química).

MOMENZADEH, A.; MOGHIMAN, M. (2010), “**Effect of droplet injection on particle separation efficiency of cyclone separators**”, 13th Annual & 2nd International Fluid Dynamics conference, Shiraz University Shiraz Iran.

BRASIL. **Norma Brasileira Regulamentadora 12019 (1990), Efluentes Gasosos em Dutos e Chaminés de Fontes Estacionárias – Determinação de Material Particulado**, Rio de Janeiro, 12 p.

SHEPHERD, C. B.; LAPPLE, C. E. (1939), “**Flow Pattern and Pressure Drop in Cyclone Dust Collectors**”. *Industrial and Engineering Chemistry*, p. 972-984.

STAIRMAND, C. J. (1951), “**The design and performance of the cyclone separators**”. *Transactions of the Institution of Chemical Engineers*, p. 356-372.

SWITHENBANK, J.; BEER, J. M.; TAYLOR D. S.; ABBOT, D.; MACCREATH, G. C. (1976), “**A laser diagnostic technique for the measurement of droplet and particle size distribution – Experimental diagnostics in gas phase combustion systems**”. *Progress in Astronaut and Aeronauts*, v.53, p. 421 – 447.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DA CANA DE AÇÚCAR – ÚNICA (2017), **Biomassa é a segunda maior fonte de energia em 2016**. São Paulo. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/namidia/3474249920338941144/biomassa-e-a-segunda-maior-fonte-de-energia-em-2016/>>. Acesso em: junho/2017.

YANG, K.-S.; YOSHIDA, H. (2004), “**Effect of mist injection on particle separation performance of cyclone scrubber**”. *Separation and Purification Technology*, p.221-230.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro, à Usina Bunge pelo fornecimento do material particulado e à empresa MagnoJet por ter concedido os bocais atomizadores para os testes experimentais.

## DESEMPENHO DE FILTRO TIPO BOLSA PARA SEPARAÇÃO DE RESÍDUOS DE HERBICIDAS

**Daniela Teixeira Chaves**

Universidade de Uberaba, Departamento de  
Engenharia Química  
Uberaba – MG

**José Roberto Delalibera Finzer**

Universidade de Uberaba, Departamento de  
Engenharia Química  
Uberaba – MG

**RESUMO:** No setor agrícola, os avanços dos últimos anos podem ser relacionados com a evolução dos equipamentos, sementes e agroquímicos. No processo produtivo de agroquímicos líquidos, pode haver particulados que não são de interesse e assim, necessitam ser retirados. A remoção de partículas sólidas de um meio líquido se dá através de filtração. O filtro tipo *bag* ou bolsa possui um mecanismo simples, de baixo custo e de fácil acesso para limpeza. Para avaliar a eficiência de um sistema de filtração, a determinação da resistência do meio, determinação da resistência específica da torta e eficiência e características da bomba utilizada para a transferência do líquido são cálculos importantes. Em um processo produtivo de herbicidas líquidos, realizou-se um estudo para cálculo de eficiência do sistema de filtração (tipo bag). Através do cálculo da área do elemento filtrante ( $0,460 \text{ m}^2$ ), da densidade da torta ( $0,99 \text{ g/cm}^3$ ), da concentração de sólidos na

suspensão ( $0,01058 \text{ kg/m}^3$ ), da massa de torta por unidade de área ( $0,92 \text{ kg/m}^2$ ), espessura média da torta ( $0,09 \text{ cm}$ ), a porosidade da torta (22%), a resistência específica da torta ( $40,68 \text{ m.kg}^{-1}$ ) e a resistência do meio ( $94160993 \text{ m}^{-1}$ ) comprovou-se a viabilidade do sistema de filtração na remoção de particulados de herbicidas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Filtração sólido-líquido; filtro tipo bag; processos de separação.

**ABSTRACT:** In the agricultural sector, advances in recent years can be related to the evolution of equipment, seeds and agrochemicals. In the production process of liquid agrochemicals, there may be particulates that are not of interest and thus, need to be removed. Removal of solid particles from a liquid medium is by filtration. The bag or bag filter has a simple, low cost and easy access for cleaning. In order to evaluate the efficiency of a filtration system, determination of the medium strength, determination of the specific strength of the cake and the efficiency and characteristics of the pump used for liquid transfer are important calculations. In a productive process of liquid herbicides, a study was carried out to calculate the efficiency of the filter system (bag type). By calculating the area of the filter element ( $0,460 \text{ m}^2$ ), the density of the cake ( $0.99 \text{ g.cm}^{-3}$ ), the concentration of solids in the suspension ( $0.01058 \text{ kg/m}^3$ ), the cake mass

per unit area  $0.92 \text{ kg.m}^{-2}$ ), average cake thickness (0.09 cm), cake porosity (22%), specific cake strength ( $40.68 \text{ m.kg}^{-1}$ ) and medium strength ( $94160993 \text{ m}^{-1}$ ) the viability of the filtration system in the removal of particulates from herbicides was verified.

**KEYWORDS:** Solid-liquid filtration; bag filter; separation processes.

## 1 | INTRODUÇÃO

A maioria dos processos industriais em larga escala envolvem algum processo de separação sólido-líquido. Nestes processos de separação, estão envolvidas diversas formas de tecnologias e equipamentos (RUSHTON, WARD, HOLDICH, 2000). Na produção de agroquímicos líquidos, podem haver particulados não reativos oriundos de matérias primas e do processo que necessitam ser retirados para garantir a qualidade do produto final.

Segundo Foust et al. (1982), quando há a necessidade de separação de certos componentes contidos numa mistura homogênea, são utilizadas as diferenças de propriedades dos constituintes da mistura para conseguir o seu objetivo. Para isso, é essencial examinar as diversas propriedades químicas e físicas dos constituintes da mistura para identificar qual delas oferece a maior diferença entre os componentes para assim propor uma forma de separação eficiente e econômica. Outros fatores a serem analisados para a determinação da etapa de separação são a necessidade de energia, o custo e a disponibilidade dos materiais.

O sistema de filtração pode ser constituído por diferentes tipos de filtros, que podem ser operados em variadas formas (RUSHTON, WARD, HOLDICH, 2000). O sistema de filtração do tipo *bag* ou bolsa consiste em um mecanismo simples de separação sólido-líquido. Este tipo de filtro possui baixo custo operacional, rápido acesso ao elemento filtrante e é uma excelente opção para otimizar a etapa de filtração.

A retirada de particulados em herbicidas deve possuir uma alta eficiência pois está diretamente ligada a qualidade do produto obtido (DAS et al., 2003). Em casos de particulados que não alteram a eficiência de herbicidas, como neste estudo, também é necessário manter uma alta eficiência de filtração, pois particulados visíveis a olho nu impactam diretamente na aceitação do produto no mercado.

Este trabalho teve como objetivo estudar o desempenho na filtração para remoção de partículas não reativas em herbicidas, bem como os fatores que influenciam na filtração, características do tipo de equipamento utilizado (tipo bolsa), as equações de filtração e a apresentação do estudo de viabilidade do sistema de filtração.

### 1.1 Filtro Tipo Bolsa

Filtração pode ser definida como a separação de sólidos de líquidos no escoamento do fluido por um meio poroso que reterá as partículas sólidas e permitirá a passagem do líquido (SVAROVSKY, 2000). As partículas sólidas retidas no filtro recebem o nome

de torta e o líquido que escoar através do meio poroso é denominado filtrado. O papel principal de um sistema de filtração é realizar a separação das partículas da suspensão ou fluido consumindo o mínimo de energia (TARLETON, WAKEMAN, 2005).

No sistema de filtração do tipo *bag* (Figura 1), os componentes principais são: vaso de pressão ou carcaça, o cesto (suporte) e o elemento filtrante (*bag* ou bolsa). O fluido a ser filtrado é direcionado sob pressão na parte superior da carcaça, onde entra em contato com o elemento filtrante suportado pelo cesto, assegurando assim uma distribuição completa e uniforme de todo o fluido pela superfície interna do elemento e garantindo um escoamento distribuído por toda a bolsa sem qualquer efeito negativo de turbulência.

O sentido do escoamento durante a filtração (de dentro para fora da bolsa) garante que todos os contaminantes retidos (torta) permaneçam em sua parte interna de forma a evitar uma possível contaminação da carcaça durante a troca do elemento filtrante. Um elemento do filtro que garante a vedação positiva de 360° no bag e assim que não haja passagem de particulados fora da bolsa filtrante é a borracha de vedação que é posicionada entre o cesto e a carcaça.



Figura 1: Filtro do tipo bolsa  
Autor (2017)

Caso o cesto entre em contato direto com a carcaça, haverá contato direto e um deslocamento deste cesto que resultará na passagem de particulados fora do elemento filtrante.

De acordo com fornecedores do mercado, a faixa de vazão de trabalho do filtro do tipo bag é de 1 a 288 m<sup>3</sup>/h. Este tipo de filtro é ideal para quem busca um baixo custo operacional: se operado corretamente, não requer manutenções constantes. Outro ponto importante é o acesso rápido ao elemento filtrante, que permite uma troca rápida do bag e assim otimiza o processo como um todo. Como os contaminantes ficam retidos apenas no interior da bolsa filtrante, ao realizar a troca do bag não é necessário realizar a limpeza da carcaça do filtro, outro ponto importante na operação do sistema (TECHNICAL FILTER, 2018).

O material do *bag* pode variar de acordo com a finalidade da retenção. Os mais

comuns são em polipropileno, poliéster e nylon. As bolsas também podem ter seus aros soldados ou costurados, variando também de acordo com o modelo da carcaça do filtro (MICRONLINE FILTROS, 2018).

Os *bags* em polipropileno e poliéster são fabricados com fibras sintéticas de estrutura tridimensional de alta porosidade que possuem espessura específica que formam vias micrométricas e que retêm partículas sólidas ou gelatinosas (Figura 5). As fibras são capazes de criar caminhos fibrosos com eficiência e tempo de utilização prolongado de acordo com o fluido a ser filtrado. A utilização do polipropileno e poliéster se diferencia pela temperatura de trabalho: os *bags* de poliéster operam a temperatura ambiente e já o polipropileno é fabricado para atender fluidos de maior temperatura. Os *bags* disponíveis no mercado têm aberturas que variam de 1 a 200  $\mu$ . Já os *bags* em nylon, possuem sua estrutura em tecido estruturado por fios de nylon termofixados. As porosidades destes modelos de *bag* variam de 10 a 800  $\mu$ m.

As bolsas costuradas possuem seu anel de vedação padrão em aço galvanizado ou inoxidável e sua grande vantagem é um menor preço de mercado em relação às bolsas com aros soldados. Já as bolsas soldadas, eliminam, devido ao aro termosoldado, a possibilidade de *bypass* através dos furos feitos pela agulha nas bolsas costuradas. Um ponto de atenção é a correta utilização do elemento filtrante: antes de utilizar o mesmo, garantir que não haja avarias no aro confirmando se o mesmo não está amassado e também garantir um perfeito encaixe do aro com o cesto para que assim não possa existir nenhum ponto de passagem do fluido fora do *bag*.

O processo de fabricação de herbicidas ocorre por batelada. O filtro do tipo *bag*, se mostra como um equipamento de custo benefício viável, sendo as condições operacionais propícias ao processo produtivo de agroquímicos onde se necessita de um rápido e fácil acesso ao elemento filtrante e condições de operação que aperfeiçoem o processo como um todo e diminuam as paradas.

Para a seleção de um equipamento responsável pela separação sólido-líquido devem-se levar em consideração diversos fatores. Além dos fatores físicos e químicos, os custos de instalação e operacionais devem ser avaliados (RAU, 2015). Os fatores mais importantes para a seleção de um filtro são: resistência específica do meio poroso de filtração; a quantidade de suspensão a ser filtrada; a concentração de sólidos na suspensão e a facilidade de descarregar a torta formada no processo de filtração.

A produção de herbicidas se dá de forma bem simples: conforme a Figura 2, as matérias primas são adicionadas em um reator onde ocorre uma reação ácido-base, e após esta reação o produto semiacabado é transferido para um tanque formulador onde o restante das matérias primas são adicionadas e misturadas e após a completa mistura e pré-filtragem, o produto acabado é transferido para tanques de armazenamento onde posteriormente será filtrado e transferido para o envase.

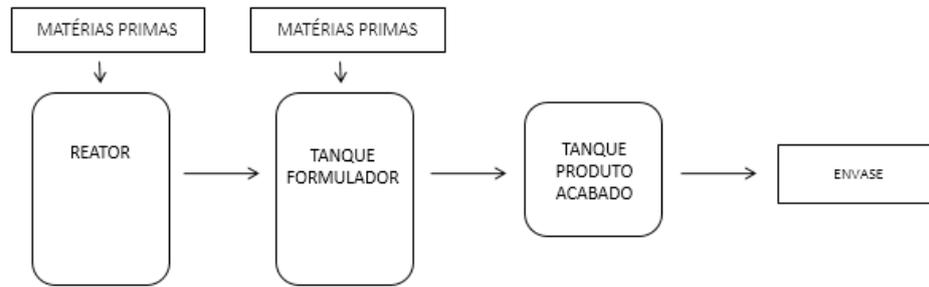


Figura 2: Fluxograma na produção de herbicidas  
Autor (2017)

A bomba utilizada para a alimentação é do tipo centrífuga, nesta situação, há variação de vazão e pressão com o tempo.

As impurezas mais encontradas neste estudo são provenientes da síntese do ingrediente ativo e possuem coloração escura e densidade menor que a do produto, ficando assim, em grande parte, como sobrenadante nos tanques de armazenamento e possuem características que fazem com que boa parte do particulado fique aderida nas paredes dos tanques (Figuras 3).



Figura 3: Impurezas na produção de herbicidas  
Autor (2017)

## 2 | DESENVOLVIMENTO

O processo produtivo de herbicidas se dá por bateladas. Nestas bateladas, são utilizados diferentes lotes de matérias primas e para obtenção de resultados confiáveis, todos os experimentos foram feitos em triplicata.

Com o auxílio de um filtro instalado para a realização do estudo de eficiência de remoção de particulados de herbicidas (Figura 4), pode-se selecionar o tipo de elemento filtrante a ser utilizado e também suas aberturas.



Figura 4: Filtro tipo bag/bolsa  
Autor (2017)

De acordo com as pesquisas de mercado, o elemento filtrante de poliéster é fabricado com fibras sintéticas de estrutura tridimensional de alta porosidade, formando assim vias micrométricas que retêm grandes quantidades de partículas sólidas e/ou gelatinosas. Esse elemento filtrante é utilizado em temperaturas ambientes. Para verificar a aplicabilidade do elemento filtrante de poliéster, mediu-se a temperatura do produto acabado antes do envase. Os testes foram realizados em triplicata e estão descritos na Tabela 1.

<b>LOTE</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>
<b>01</b>	32
<b>02</b>	30
<b>03</b>	32
<b>TEMPERATURA MÉDIA</b>	31

Tabela 1 - Determinação Temperatura Média

Na temperatura média de 31°C o elemento de filtração em poliéster opera adequadamente e selecionou-se a abertura ideal para o elemento filtrante.

Como as partículas a serem retiradas do processo produtivo não são quimicamente prejudiciais, o interesse maior é que sejam retiradas as partículas visíveis a olho nu.

Realizaram-se testes para a definição do tamanho das partículas do resíduo a ser retido. Como o material encontra-se aglomerado e tem características gelatinosas,

ao realizar a determinação do tamanho das partículas com o auxílio de um medidor de tamanho de partículas, não foi possível obter um resultado significativo.

O mercado disponibiliza elementos filtrantes em poliéster de 1 $\mu$ m, 5 $\mu$ m, 10 $\mu$ m, 25 $\mu$ m, 40 $\mu$ m, dentre outros. Como o menor limite de visibilidade a olho nu é 40 $\mu$ m, para garantir a total retirada do particulado visível da suspensão, utilizou-se um tecido filtrante de 25 $\mu$ m.

De acordo com laudo de qualidade fornecido pelo fabricante dos elementos filtrantes, foram obtidas as informações necessárias para a realização dos cálculos referentes à eficiência do mesmo conforme mostrado na Tabela 2.

Característica	Padrão	Resultado
% Eficiência em Remoção	> 99,85%	99,90%
Micragem Nominal	25 $\mu$	25 $\mu$
Aro	Metálico	Aço Galvanizado
Comprimento	82,0 $\pm$ 1,0 cm	82,0 cm
Largura	29,0 $\pm$ 1,0 cm	29,0 cm
Espessura	1,5 – 3,0 mm	2,5 mm

Tabela 2 - Especificações Elemento Filtrante

## 2.1 Determinação da Área do Elemento Filtrante

Elementos filtrantes do tipo *bag* ou bolsa possuem formato cilíndrico com uma das bases vazadas e têm suas dimensões definidas de acordo com a necessidade do volume a ser filtrado, do tamanho das partículas sólidas presentes na suspensão e as dimensões do vaso de pressão, onde o elemento filtrante deve ser posicionado.

A área total do elemento filtrante pode ser calculada pela soma da área lateral e a área da base e de acordo com os dados fornecidos pelo fabricante e com os cálculos realizados, a área total do elemento é de 0,460 m<sup>2</sup>.

## 2.2 Concentração de Sólidos na Suspensão

A concentração de sólidos na suspensão é dada pela massa de sólidos pela unidade de volume filtrado em kg/m<sup>3</sup>. Os dados foram coletados em triplicata e a concentração média de sólidos na suspensão determinada em 0,01058 kg/m<sup>3</sup> de acordo com os dados da Tabela 3.

Volume Filtrado (m <sup>3</sup> )	Peso Filtro Pré Batelada (kg)	Peso Filtro Pós Batelada (kg)	Concentração Sólidos na Suspensão (kg/m <sup>3</sup> )
40	1,02	1,35	0,00825
40	1,02	1,45	0,01075
40	1,02	1,53	0,01275
<b>MÉDIA CONCENTRAÇÃO SÓLIDOS NA SUSPENSÃO</b>			0,01058

Tabela 3 - Concentração de Sólidos na Suspensão

## 2.3 Massa de Torta por Unidade de Área

Sendo determinada a área do elemento filtrante utilizado e a concentração de sólidos na suspensão, é possível quantificar a massa de torta por unidade de área.

Este cálculo se refere à massa das partículas (torta) depositadas no elemento filtrante, como mostra a Figura 5, por unidade de área do mesmo e se dá em função do tempo de batelada ou volume de filtrado.



Figura 5: Torta do elemento filtrante

Autor (2017)

Para se encontrar a massa de torta ( $w$ ) por unidade de área ( $A$ ), deve-se conhecer a concentração de sólidos na suspensão ( $c$ ) bem como o volume de filtrado ( $V$ ) de acordo com a Equação 1, tem-se a massa de torta definida em  $0,92 \text{ kg/m}^2$ .

$$wA = cV \quad (1)$$

## 2.4 Determinação da Densidade da Torta

Para determinar a densidade média da torta do meio filtrante ( $\rho$ ), em triplicata, quantificou-se o volume ( $V$ ) com o auxílio de uma bureta, da massa ( $m$ ) de material retido nas paredes internas do elemento filtrante, de acordo com os dados da Tabela 4 obteve-se uma densidade média de  $0,99 \text{ g/cm}^3$ .

Massa da Amostra (g)	Volume da Amostra (mL)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
2,73	2,9	0,94
4,52	4,2	1,07
4,05	4,1	0,98
<b>DENSIDADE MÉDIA</b>		0,99

Tabela 4 - Densidade Média da Torta

## 2.5 Determinação da Espessura Média da Torta

A espessura média da torta está relacionada ao volume de torta retido no elemento

filtrante (V) pela área deste elemento filtrante (A).

De acordo com os dados obtidos, identificou-se a massa de torta retida no elemento filtrante como sendo a massa da torta por unidade de área ( $w = 0,92 \text{ g/m}^2$ ) multiplicada pela área do *bag* ( $A = 0,460 \text{ m}^2$ ), com um valor de 423,2 g.

Após a determinação da massa de torta no elemento filtrante (423,2 g) e com o valor de densidade da torta ( $\rho = 0,99 \text{ g/cm}^3$ ) foi obtido o volume de torta no elemento filtrante (V),  $427,5 \text{ cm}^3$ . Com estes resultados determinou-se a espessura média da torta em 0,09 cm.

## 2.6 Determinação da Curva de Saturação

A curva de saturação está relacionada ao tempo necessário para que o elemento filtrante, operando a uma determinada vazão, esteja saturado, ou seja, o material depositado no mesmo impeça que o solvente escoe no meio de filtração. Isto faz que ocorra um aumento de pressão no meio e, neste caso, como é utilizada uma bomba centrífuga, haja também uma diminuição da vazão.

De acordo com o fabricante do elemento filtrante, o mesmo atinge sua condição de saturação com o aumento de  $1,5 \text{ kg/cm}^2$  a  $2 \text{ kg/cm}^2$  da pressão registrada na entrada com elemento limpo.

Em diferentes bateladas, foram coletados em triplicata dados da pressão de entrada em relação ao tempo. Os dados de pressão foram quantificados em dois pontos: na bomba de transferência e no filtro, e sendo os dados de pressão da bomba muito próximos aos do filtro (cerca de  $0,5 \text{ kg/cm}^2$  de perda de carga), para os cálculos, foram consideradas as médias das pressões da Tabela 5.

Tempo (min)	Pressão no Filtro ( $\text{kg/cm}^2$ )			
	Observação 1	Observação 2	Observação 3	Média
0	1,8	1,7	1,5	1,7
30	1,9	1,8	1,5	1,7
60	1,9	1,8	1,5	1,7
90	2	2	1,5	1,8
120	2	2,2	2	2,1
150	2,2	2,3	3	2,5
180	2,2	2,5	3	2,6
210	2,4	3	3,2	2,9
240	2,4	3	3,5	3
270	4	4	4	4

Tabela 5 - Diferencial de Pressão no Filtro

Com estes dados, plotou-se a curva de Saturação em relação à Pressão (Figura 6), que possibilita identificar o tempo médio para a troca do elemento filtrante de acordo com o diferencial de pressão indicado pelo fabricante do filtro (cerca de  $2 \text{ kg/cm}^2$ ). De

acordo com os dados da curva, seria necessário realizar a troca de elemento filtrante a cada 270 minutos de operação constante.

Verificou-se também que, ao término da filtração de uma batelada, o filtro apresentava um súbito aumento de pressão. Este rápido aumento está relacionado às partículas residuais que, em sua maioria, possuem menor densidade que o herbicida em questão e permanecem sobrenadantes na suspensão e ao final da filtração ficam aderidas ao meio de filtração.

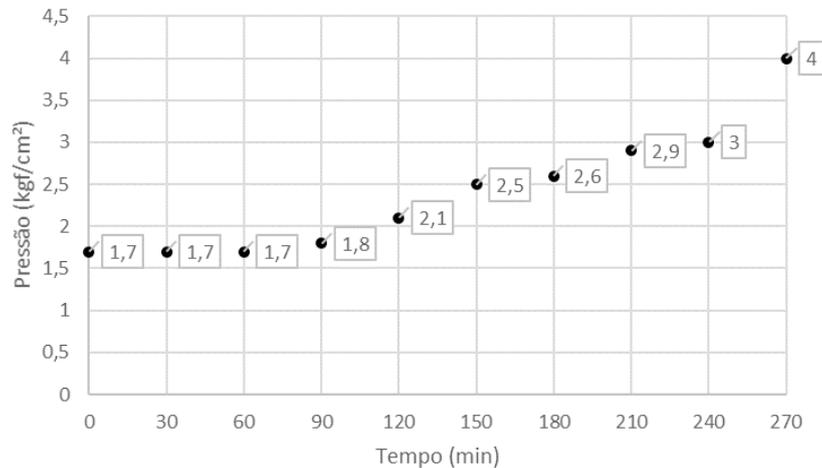


Figura 6: Gráfico da Curva de Saturação do Elemento Filtrante

A bomba utilizada para a transferência do produto acabado que é submetido a filtração é do tipo centrífuga operando a 3500 rpm, com diâmetro nominal do rotor de 160 mm.

Tempo (min)	Pressão Média Filtro (kg/cm²)	Altura Manométrica (m)	Vazão (m³/h)
0	1,7	14,52	37
30	1,7	14,52	37
60	1,7	14,52	37
90	1,8	15,37	36,5
120	2,1	17,93	36
150	2,5	21,35	35,5
180	2,6	22,21	35
210	2,9	24,77	34,5
240	3	25,62	34
270	4	34	30

Tabela 6 - Vazão de acordo com a Pressão

De acordo com as especificações da bomba utilizada para a filtração e sendo

o diferencial de pressão relacionada a pressão manométrica quantificada no filtro, calculou-se a altura manométrica para cada pressão obtida em função do tempo (Tabela 6).

Observa-se que quando o elemento filtrante se encontra próximo da saturação, a vazão sofre uma redução.

De acordo com a leitura de eficiência da bomba na curva característica a eficiência máxima alcançada na condição de operação é de 53%.

## 2.7 Determinação da porosidade da torta

A porosidade da torta ( $\epsilon$ ) pode ser calculada quantificando o volume de espaços vazios e dividindo pelo volume da torta. O volume dos espaços vazios pode ser quantificado através da evaporação da água presente em uma amostra da torta saturada com água.

Para obter a porosidade da torta, com o uso de uma bureta, determinou-se, em triplicata, o volume de parte da torta de diferentes bateladas e com uma balança analítica a massa das amostras. Em uma estufa mantida a temperatura de 105°C, secou-se as amostras até que toda a água fosse eliminada, quando a massa residual se manteve constante, o que ocorreu em 24 h. A massa média de água evaporada foi de 0,36 g. Os dados obtidos estão registrados na Tabela 7.

Massa da Amostra Molhada (g)	Volume da Amostra (mL)	Massa da Amostra Seca (g)	Massa Evaporada (g)
1,12	1,05	0,74	0,38
2,86	2,5	2,51	0,35
1,50	1,20	1,14	0,36
MÉDIA			0,36

Tabela 7 - Secagem das amostras em estufa

Com a densidade da torta (0,99 g/cm<sup>3</sup>) e da massa seca (0,36 g) da torta, quantificou-se o volume de espaços vazios na amostra (0,36 cm<sup>3</sup>).

Determinou-se a porosidade da torta ( $\epsilon=22\%$ ), dada pelo volume de espaços vazios (0,36 cm<sup>3</sup>) pelo volume da torta (1,58 cm<sup>3</sup>).

## 2.8 Resistência específica da torta e resistência do meio filtrante

Para determinar a resistência específica da torta e a resistência do meio é necessário compreender se a filtração se dá a pressão constante ou variável e se a vazão de entrada da suspensão no sistema varia. O filtro do tipo *bag* utilizado neste estudo tem como uma de suas características a operação com variação da pressão com o tempo. A vazão de filtrado pode ser quantificada com a curva característica da bomba utilizada na filtração.

A medida que o elemento filtrante recebe o particulado da suspensão a ser filtrada

e forma-se a torta, há um leve aumento da pressão do sistema, havendo assim uma dificuldade do fluido em seguir seu escoamento, ocorrendo uma pequena diminuição da vazão.

Como a variação da vazão neste estudo é de pequenas proporções, pode-se calcular a resistência específica da torta e a resistência específica do meio através das equações básicas de projeto para pressão variável e vazão constante utilizando uma média da vazão.

Usando os dados de vazão média ( $Q = 35,25 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e da área do elemento filtrante ( $A = 0,462 \text{ m}^2$ ), calculou-se a velocidade do filtrado ( $v = 0,0211 \text{ m/s}$ ).

Utilizando a simplificação da equação geral de filtração tem-se as Equações 2, 3 e 4 (SVAROVSKY, 2000):

$$a = \alpha \mu c \quad (2)$$

$$b = \mu R \quad (3)$$

$$\Delta p = av^2t + bv \quad (4)$$

Com o gráfico que relaciona o diferencial de pressão e o tempo de filtração, através da linha de tendência com a equação da reta (Figura 7) quantifica-se  $bv$  ( $132122 \text{ N/m}^2$ ).

Sendo a viscosidade da suspensão  $\mu = 0,0665 \text{ Pa.s}$ , utilizando a Equação 3 tem-se e o coeficiente linear da reta, quantifica-se a resistência do meio de filtração,  $R = 94160993 \text{ m}^{-1}$ .

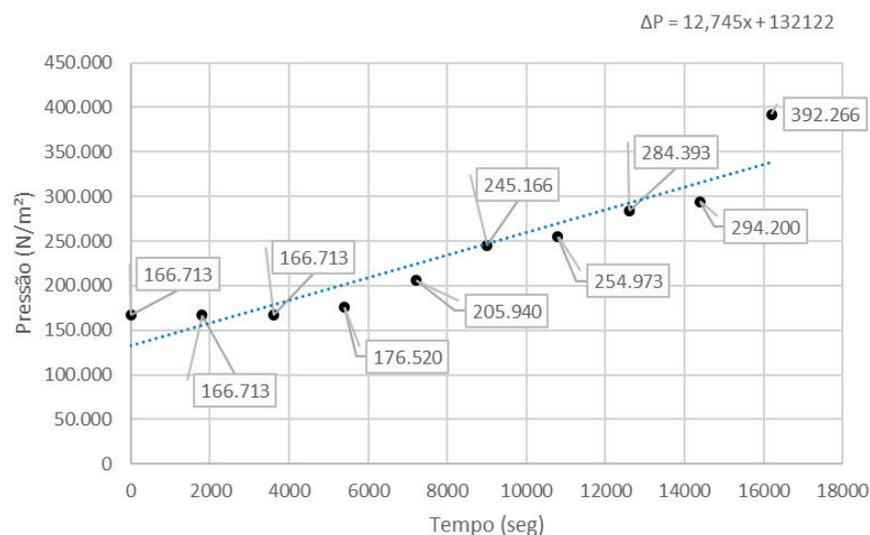


Figura 7: Diferença de pressão em relação ao tempo

Sendo  $av^2=12,74 \text{ s}$ , segundo a equação da reta ajustada, Figura 7, tem-se  $a = 28626 \text{ Pa.s.m}^{-2}$ . Sendo a viscosidade da suspensão  $\mu = 0,0665 \text{ Pa.s}$  e a concentração de sólidos na suspensão  $c = 0,01058 \text{ kg/m}^3$ , utilizando a Equação 2 tem-se a resistência

específica da torta ( $\alpha = 40,6 \text{ m} \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este projeto teve como objetivo o cálculo da eficiência de um sistema de filtração para a retirada de resíduos na formulação de herbicidas. Foram avaliados aspectos operacionais e cálculos de eficiência.

O papel principal do elemento filtrante neste sistema de filtração foi atuar na retenção das partículas indesejadas presentes na suspensão que se mostravam visíveis a olho nu. Além da realização de cálculos, verificou-se também a eficiência do elemento filtrante através da visualização do filtrado e das características do mesmo.

Ao realizar a medição de temperatura do processo (média de  $31^\circ\text{C}$ ), confirmou-se a viabilidade de uso do elemento filtrante em poliéster. Segundo fornecedores do mercado, este tipo de bag é indicado apenas para temperaturas amenas.

Sendo a densidade dos resíduos (torta) calculada em  $0,99 \text{ g/cm}^3$  e a densidade dos herbicidas sendo em média de  $1,20 \text{ g/cm}^3$ , o resíduo a ser retirado pelo sistema de filtração, permanece sobrenadante na suspensão (Figura 8). Com a instalação do filtro tipo *bag*, verificou-se que o particulado, antes sobrenadante, ficava de fato retido no sistema de filtração (Figura 9), comprovando assim, visualmente, a eficiência deste sistema.



Figura 8: Resíduo sobrenadante no tanque de armazenamento



Figura 9: Tanque de armazenamento sem resíduos

Também, através do acompanhamento visual, verificou-se que para este tipo de filtro podem ocorrer desvios de processo caso o mesmo não seja operado de acordo com as orientações do fornecedor. Por ser um equipamento que permite fácil acesso ao elemento filtrante, para o encaixe perfeito do cesto na carcaça do sistema de filtração são utilizados anéis de vedação. Caso o sistema de filtração seja montado sem qualquer material que garanta o encaixe entre o cesto e a carcaça do equipamento, pode ocorrer escoamento de particulados para fora do elemento filtrante.

Além de garantir um encaixe perfeito entre cesto e carcaça do equipamento, é necessário certificar-se que o elemento filtrante a ser utilizado está em perfeitas condições e que possui as dimensões corretas para a montagem do sistema de filtração (Figura 10). Estes elementos filtrantes, segundo a orientação de fornecedores do mercado, podem ser reutilizados caso a torta possa ser facilmente retirada do elemento filtrante, pode-se reutilizar o *bag* para outras bateladas. Um ponto de atenção na reutilização deste elemento de filtração é garantir que as dimensões do aro, responsável pelo encaixe no cesto, não sejam alteradas durante a etapa de retirada da torta.



Figura 10: Encaixe do elemento filtrante com o cesto

Por cálculo, determinou-se também a concentração de sólidos na suspensão.

Esta concentração foi determinada em  $0,01058 \text{ kg/m}^3$ . Considerando-se que em uma batelada de  $40 \text{ m}^3$ , encontra-se em média  $0,4232 \text{ kg}$  de resíduos a serem retirados da suspensão pelo sistema de filtração e calculando-se a porcentagem de resíduos em volume/volume, com o uso da densidade da torta ( $0,99 \text{ g/cm}^3$ ), estes representam em média  $0,00002\%$  do volume de uma batelada.

Quantificou-se ao determinar a curva de saturação do elemento filtrante em relação a pressão, que era necessário realizar a troca do elemento filtrante em uma média de 240. Com isso, verificou-se a necessidade da instalação de um sistema de filtração com by-pass visando diminuir as paradas de processo. Com apenas um filtro, ao chegar a saturação do mesmo, a transferência da suspensão seria interrompida para a troca do elemento filtrante, impactando assim no envase do produto acabado. Já com o sistema de *paralelo* estariam disponíveis dois filtros, ou seja, o fluido alimentaria apenas por um filtro de cada vez, mas ao atingir a saturação deste filtro, o segundo estaria disponível para inversão do escoamento sem causar impactos na transferência do produto acabado.

Ao realizar a leitura da eficiência da bomba na curva característica da bomba utilizada para a transferência de herbicidas ao sistema de filtração, verificou-se uma eficiência de  $53\%$  do equipamento. A eficiência máxima de operação deste modelo de bomba de acordo com o fornecedor é de  $60\%$ , sendo assim, a eficiência real está dentro de uma faixa adequada de operação.

Em relação aos cálculos de massa de torta por unidade de área do elemento filtrante, obteve-se um resultado de  $0,92 \text{ kg/m}^2$ , o que caracteriza uma torta de fina espessura ( $0,09 \text{ cm}$ ). Estes cálculos foram realizados de acordo com as dimensões fornecidas pelo fabricante do elemento filtrante e com o cálculo da área.

Para os dados de porosidade, que relaciona o volume de espaços vazios no volume da torta, manteve-se a evaporação de toda a água contida na amostra por cerca de 24 horas em estufa a  $105^\circ\text{C}$ . Utilizou-se a densidade da torta para obter-se o volume de água evaporada da amostra e assim quantificou-se a porosidade em  $22\%$ .

Para a velocidade do filtrado, que é dada de acordo com a vazão pela área do elemento filtrante, encontrou-se um valor de  $76,29 \text{ m/h}$  ou  $0,0211 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Neste cálculo, como a variação da vazão quantificada não é expressiva, utilizou-se o valor de vazão média para a realização dos cálculos na operação com pressão variável.

Portanto, de acordo com os dados coletados e características do processo observadas, os cálculos deste sistema de filtração se deram a vazão constante e pressão variável. Os principais cálculos para determinar a eficiência do sistema de filtração foram realizados com dados da área do elemento filtrante, vazão do sistema, concentração de sólidos na suspensão e densidade da torta. A resistência do meio (R), foi determinada em  $94160993 \text{ m}^{-1}$ . Já a resistência específica da torta ( $\alpha$ ), foi calculada em  $40,6 \text{ m}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Os dados obtidos neste estudo são singulares, ou seja, realizar a comparação com outros sistemas de filtração torna-se inviável pois cada sistema possui características

particulares. As observações visuais do filtrado e dos cálculos realizados mostraram que o sistema projetado atendeu as necessidades operacionais da empresa.

## 4 | CONCLUSÃO

De acordo com o objetivo proposto, que foi o estudo da eficiência do sistema de filtração para a retenção de partículas indesejáveis em herbicidas através de um filtro de testes, pode-se concluir que, através da visualização do filtrado e dos cálculos desenvolvidos para a obtenção dos valores de saturação do elemento filtrante, resistência específica da torta e resistência do meio de filtração, que o sistema de filtração é eficiente e os dados permitem projetar outros sistemas de filtração.

## REFERÊNCIAS

DAS, Amal Chandra; DEBNATH, Anjan; MUKHERJEE, Debatosh. Effect of the herbicides oxadiazon and oxyfluorfen on phosphates solubilizing microorganisms and their persistence in rice fields. **Chemosphere**, v. 53, n. 5, p. 217-221. 2003.

FOUST, Alan. S., WENZEL, Leonard A., CLUMP, Curtis W., MAUS, Louis., ANDERSEN, Bryce L. **Princípios das Operações Unitárias**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed LTC, 1982.

MICRONLINE FILTROS. Filtros Industriais. **Micronline Filtros**. Disponível em: <<https://www.micronlinefiltros.com/linhasprodutos>>. Acesso em: jan. 2018.

RUSHTON, Albert; WARD, Anthony S.; HOLDICH, Richard G. **Solid-Liquid Filtration and Separation Technology**. 2. ed. Federal Republic of Germany: Wiley-Vch, 2000.

SVAROVSKY, Ladislav. et.al. **Solid-Liquid Separation**. 4. ed. United States of America: Butterworth Heinemann, 2000.

TARLETON, Stephen; WAKEMAN, Richard. **Solid/Liquid Separation: Principles of Industrial Filtration**. 1. ed. United States of America: Elsevier, 2005.

TECHNICAL FILTER. Filtração por Bolsa. **Produtos e Soluções**. Disponível em: <<http://technicalfilter.com.br/produtos/filtracao-por-bolsa/>>. Acesso em: jan. 2018.

## DISTRIBUIÇÃO DE CHUMBO TOTAL EM AMOSTRAS DE SEDIMENTOS E SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EXTRAÍDAS DE SEDIMENTOS COLETADOS EM MANANCIAIS COM DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA DA BACIA AMAZÔNICA

### **Tania Machado da Silva**

Universidade de Brasília, Faculdade UnB  
Planaltina  
Brasília – Distrito Federal

### **Bruno Cesar Prior Rocha**

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Filho, Instituto de Química de Araraquara  
Araraquara – São Paulo

### **Wilyane Silva Figueiredo**

Universidade de Brasília, Faculdade UnB  
Planaltina  
Brasília – Distrito Federal

### **Luiz Fabrício Zara**

Universidade de Brasília, Faculdade UnB  
Planaltina  
Brasília – Distrito Federal

### **Gustavo Rocha de Castro**

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Filho, Instituto de Biociências de Botucatu  
Botucatu – São Paulo

### **André Henrique Rosa**

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Filho, Campus de Sorocaba Sorocaba – São  
Paulo

**RESUMO:** Caracterizou-se a distribuição de chumbo total em frações de sedimentos coletados em mananciais dos três diferentes tipos de águas da bacia amazônica. As amostras foram coletadas durante os períodos de cheia e seca entre 2014 e 2015, nos

reservatórios da Usina Hidrelétrica de Jirau (Rio Madeira – RO – água branca), da Usina Hidrelétrica de Cana Brava (Rio Tocantins – GO) e no baixo Rio Negro – AM. Os maiores valores médios de concentração de chumbo ocorreram no rio com tipo de água branca em seguida de água clara e água preta. Pode-se estabelecer a seguinte ordem decrescente de média de concentração de Pb nos sedimentos: água branca > água clara > água preta. Os resultados desse trabalho demonstram a influência da presença da matéria orgânica e outros parâmetros físico-químicos da água e sedimentos na complexação, disponibilidade, transporte e ciclagem de espécies químicas, particularmente chumbo em reservatórios da bacia da região amazônica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amazônia – Chumbo – Sedimentos – Substâncias húmicas.

**ABSTRACT:** Distribution of total lead in sediment fractions collected at different springs from three water types located at Amazonian basin was investigated. Samples were collected from 2014 to 2015 during flood and drought periods at Jirau Hydroelectric Power Plant reservoir (Madeira River – Roraima State – white water), Cana Brava Hydroelectric Power Plant reservoir (Tocantins River – Goiás State – clear water) and at Negro River (Amazonas State – black water). Higher values for determined lead

at surface sediment were as follows: white water > clear water > black water. The obtained results indicated that lead availability and transport/cycling at the studied reservoirs are dependent of several parameters such as organic matter and physical-chemical conditions.

**KEYWORDS:** Amazon – Lead – Sediments – Humic substances.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Brasil possui 1/3 das florestas tropicais do mundo, sendo reconhecido como um dos mais importantes países em diversidade biológica (PRANCE, 1987). A floresta Amazônica é a maior área de floresta contínua do planeta com aproximadamente 5,5 milhões de km<sup>2</sup>, com 60% no Brasil. Suas florestas inundadas ocupam até 17% do bioma amazônico tendo como característica a flutuação cíclica dos rios entre as estações de seca e enchente, resultando em inundações de grandes áreas ao longo de suas margens (FERREIRA; VENTICINQUE; ALMEIRA, 2005).

### 1.1 Classificação das Águas Amazônicas

Os mananciais amazônicos se distinguem uns dos outros por qualidades físico-químicas e biológicas das suas águas. Em 1950 Harald Sioli, pesquisador alemão, publicou um histórico trabalho sobre os diferentes tipos de águas da região amazônica, identificando a estreita relação entre a química e a biologia das águas amazônicas com a geologia e a mineralogia da região. Os três grupos de rios identificados foram: rios de água branca (barrenta), rios de água preta e rios de água clara (SIOLI, 1985).

Os rios de água branca drenam regiões geológicas recentes como os Andes e carregam em suas águas grandes quantidades de material particulado dissolvido oriundo de processos erosivos da crosta terrestre. Isto possibilita formações de várzeas extensas, anualmente alagadas, com diques marginais naturais acompanhando o leito do rio com lagoas rasas (lagoas de várzea), braços do rio (paraná) etc. Como exemplos de rios de água branca podem-se citar os rios Madeira, Solimões e Branco, de águas túrbidas, de cor ocre, e com transparência com cerca de 10 a 60 cm de visibilidade. De maneira geral as águas brancas possuem pH próximo a neutralidade.

Os rios de água preta originam de regiões relativamente planas, antigas, com solos arenosos e vegetação do tipo campina. O Rio Negro, por exemplo, vem de uma peneplanície muito antiga sendo esta a razão do baixo teor de material particulado dissolvido em suas águas. Esses mananciais são caracterizados pela cor marrom, de marrom-olivácea até marrom-avermelhada. Esta coloração escura característica é devida ao alto teor de substâncias húmicas aquáticas dissolvidas nesses mananciais, oriundas da decomposição de animais e vegetais (ROCHA; ROSA, 2003). Exemplos de rios de água preta são o Rio Negro e o Rio Cururu (afluente do alto Rio Tapajós). Devido à alta concentração de material orgânico dissolvido, estas águas são ácidas

apresentando pH abaixo de 5.

Os rios Tocantins, Tapajós e Xingu e a maioria dos afluentes do baixo Amazonas são exemplos de rios de água clara, os quais têm suas origens em regiões geologicamente antigas, apresentam transparência cerca de 60 cm a 4 m e cor verde olivácea. Quanto ao pH as águas claras diferem entre si. Aquelas provenientes das zonas de sedimentos do terciário da Amazônia Central são mais ácidas (pH cerca 4,5) que as águas oriundas dos escudos central-brasileiro e guianense (pH entre 5,5 – 6,6). As águas claras provenientes das faixas do carbonífero ao norte e ao sul do baixo Amazonas, onde afloram depósitos de calcário, gipsita e erupções de diabásico, são exceções locais de todas as outras águas na baixada amazônica, restritas a áreas relativamente pequenas e com valores de pH até 7,8 (BOTERO, et al. 2011).

## 1.2 Metais

As espécies metálicas aportam no ambiente como resultado de atividades naturais e/ou antrópicas. Na bacia Amazônica o processo de industrialização e ocupação do solo é menor que em outras regiões. Assim, a contaminação de ambientes aquáticos ocorre principalmente via processos naturais, como o intemperismo de rochas e solos, disponibilizando, espécies metálicas presentes na sua constituição que pode ser influenciada pelo ambiente geológico da bacia de drenagem, clima, classificação hidráulica ou atividades antrópicas (GOLDSTEIN; JACOBSON, 1988.; FRALICK; KRONBERG, 1997).

## 1.3 Chumbo

O composto Tetraetilchumbo ou chumbo tetraetila ( $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ ) foi muito utilizado para aumentar a octanagem da gasolina melhorando assim o rendimento do automóvel. O chumbo proveniente da queima desses combustíveis pode ter sido a maior fonte deste metal potencialmente tóxico para o ambiente. A partir da década de 90, tal composto foi suprimido da composição da gasolina.

## 1.4 Sedimentos

O monitoramento de espécies metálicas na coluna d'água não fornece um diagnóstico completo a respeito da qualidade do corpo aquático com relação a tais substâncias. Existem estudos na literatura em que a concentração de espécies metálicas nos sedimentos chegou a ser 150 vezes maior que na coluna d'água (KAUSHIC, et al. 2009.; KANG, 2009.; YI, 2008.; SANTORO et al. 2009). Sedimentos são considerados os principais sumidouros e reservatórios de espécies metálicas nos ambientes aquáticos. A denominação sumidouro está relacionada com a remoção de metais da coluna d'água por processos de adsorção e/ou co-precipitação com o material particulado suspenso, como partículas de argila, material orgânico e oxihidróxidos de ferro e manganês e, posterior deposição nos sedimentos. Assim, atuam como reatores

biogeoquímicos com as espécies metálicas participando de vários processos, incluindo reações microbianas, transformações redox, trocas (adsorção/absorção) e dissolução/precipitação de minerais. Estes processos regulam a especiação de metais e, portanto, controlam o equilíbrio de transferências na interface água/sedimento (LACERDA; SOLOMONS, 1998.; MOZETO; UMBUZEIRO; JARDIM, 2006).

Nas frações entre 20-35  $\mu\text{m}$  dos sedimentos, alguns metais estão presentes em concentrações relevantes e o uso das frações <63  $\mu\text{m}$  para análise de metais é geralmente aceito internacionalmente. Frações menores são preferidas para as análises por serem transportadas por longas distâncias pela correnteza, acumular mais espécies metálicas na superfície, seu peneiramento ser mais eficiente e por conter contaminantes que podem influir na biota que retiram seletivamente nutrientes dessas frações de granulometria mais fina (GROOT, 1995).

### 1.5 Matéria Orgânica - Importância das Substâncias Húmicas (SH) no Ambiente

Matéria orgânica natural (MON) é toda matéria orgânica existente nos reservatórios ou ecossistemas naturais, com exceção da matéria orgânica viva e dos compostos de origem antrópica. Cerca de 20% da MON nos ecossistemas naturais possuem estrutura química definida o que os define como substâncias *não* húmicas. Os 80% restantes correspondem a massas de matéria orgânica detriticas, em vários estágios de decomposição, resultantes da degradação química e biológica de resíduos vegetais/animais e da atividade de síntese de microorganismos. Essa matéria é chamada de *húmus* ou *substâncias húmicas* (SH) (STEVENSON, 1994.; ROCHA; ROSA; CARDOSO, 2009).

As SH influenciam a biodisponibilidade de metais do solo para plantas e/ou organismos, na toxicidade de alguns metais, formando complexos com diferentes labilidades relativas (ROCHA; TOSCANO; BURBA, 1997), reduzindo a toxicidade de certos metais como  $\text{Cu}^{+2}$  e  $\text{Al}^{+3}$  para organismos aquáticos e solos (BLOOM; McBRIDE, 1979) além de atuar no transporte, acúmulo e concentração de espécies metálicas no ambiente. Dependendo das condições do meio possuem características oxi-redutoras, influenciando na redução de espécies metálicas e seu fluxo para a atmosfera.

### 1.6 Objetivos

Caracterizar a distribuição de chumbo em frações de sedimentos de mananciais dos três diferentes tipos de águas da bacia amazônica e em substâncias húmicas extraídas das frações desses sedimentos.

## 2 | DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

### 2.1. Rio Madeira

O rio Madeira é formado pela confluência do rio Beni com o rio Mamoré na fronteira entre Brasil e Bolívia. Apresenta as características de águas brancas (originárias na região Andina e pré-Andina) caracterizadas pela grande quantidade de partículas dissolvidas (nutrientes e sais minerais) e em suspensão.

### 2.2. Rio Negro

O Rio Negro tem sua nascente na Colômbia pré-Andina, possui extensão de aproximadamente 1.700 km e drena grande diversidade de solos e rochas com estados de intemperismo químico e físico distintos. É o afluente do rio Amazonas com maior concentração de matéria orgânica dissolvida (MOD), cerca de 600-900  $\mu\text{mol L}^{-1}$  enquanto outros afluentes desse rio possuem 300-500  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de (MOD) (McCLAIN; RICHEY; BRANDES, 1997). O caráter ácido de suas águas é devido à baixa concentração de cálcio e magnésio nas formações geológicas das nascentes do rio e ao grande aporte de substâncias húmicas provenientes de extensas áreas de podzóis hidromórficos na porção superior da bacia (IVANISSEVICH, 1990).

### 2.3. Rio Tocantins

O rio Tocantins nasce na Serra Paranã, há aproximadamente 1100 m de altitude, próximo a Brasília e percorre cerca de 2400 km até sua foz em Belém do Pará. Sua vazão média na confluência com o rio Araguaia é de 7860  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  na cheia e 784  $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$  na vazante (MIRANDA; MAZZONI, 2009). Seu regime hidrológico é bem definido, com período de cheia de outubro a abril e período de vazante de maio a setembro, sendo que a precipitação anual varia entre 1500 e 2000 mm. A temperatura média anual é de 24 °C e a umidade relativa do ar é em média de 60% (MIRANDA & MAZZONI, 2009.; SILVA & SCARIOT, 2003).

### 2.4. Amostragem

Embora as amostragens tenham sido feitas nos períodos de cheia e seca durante 2014 e 2015, o tratamento estatístico não caracterizou diferenças significativas entre os resultados em função da sazonalidade. Assim, devido a grande quantidade de dados gerados neste trabalho, os resultados apresentados são as respectivas médias representando estes períodos de coletas nos respectivos mananciais nos rios Madeira, Negro e Tocantins, de acordo com a Tabela 1.

Locais amostrados	Classe de água	Amostragem		Coordenadas	
		Cheia	Seca	X	Y
Rio Madeira <sup>*</sup>	Branca	Abril	Outubro	291344	8939291
Rio Negro <sup>**</sup>	Preta	Dezembro	Junho	987012	5545313
Rio Tocantins <sup>***</sup>	Clara	Novembro	Julho	850933	8044972

Tabela 1. Locais de amostragem, classe de água dos locais de amostragem, períodos amostrados e coordenadas dos locais amostrados.

(\*) Reservatório da Usina Hidrelétrica Jirau – Rio Madeira - Rondônia – RO; (\*\*) Rio Negro – Amazonas – AM; (\*\*\*) Reservatório da Usina Hidrelétrica Cana Brava – Rio Tocantins - TO.

Devido aos três corpos aquáticos se localizarem em diferentes estados, isto impossibilitou que as amostragens fossem feitas em uma mesma campanha. Embora processadas separadamente, as amostras de sedimentos coletadas nos três corpos aquáticos foram submetidas aos mesmos procedimentos experimentais.

As amostras de sedimento foram coletadas utilizando-se coletor pontual de sedimento (draga de Eckman), permitindo a coleta da camada mais reativa do sedimento nas áreas de remanso (MOZETO; UMBUZEIRO; JARDIM, 2006). Após coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos PET (FADINI; JARDIM, 2000), mantidas resfriadas a cerca de 5 °C até o preparo e análise em laboratório. As amostras foram homogeneizadas a úmido nos próprios sacos PET, posteriormente secas a temperatura ambiente e fracionadas granulometricamente em 10 frações utilizando peneiras com abertura de várias malhas. Após o fracionamento, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos devidamente identificados de acordo com a granulometria e seu respectivo ponto de coleta. Todas as amostras foram preparadas em triplicata.

## 2.5. Equipamentos e Acessórios

- Agitador magnético multipontos Variomag Telesystem;
- Balança analítica, Mettler, modelo AE200;
- Banho termostático;
- Bloco digestor, Tecnal, modelo TE;
- Espectrômetro de emissão atômica com fonte de plasma indutivamente acoplado (ICP OES), Perkin Elmer, modelo Optimo 8000;
- Estufa com renovação de ar, modelo 305/5;
- Mesa agitadora com movimento horizontal circular, modelo TE - 140;
- Micropipetas automáticas, Perkin Elmer;
- Peneiras com aberturas de 2,0 mm, 1,4 mm, 1,0 mm, 500  $\mu\text{m}$ , 355  $\mu\text{m}$ , 250  $\mu\text{m}$ , 180  $\mu\text{m}$ , 125  $\mu\text{m}$  e 63  $\mu\text{m}$ ;

## 2.6. Reagentes e Soluções

Todos os reagentes utilizados foram de pureza analítica, sendo as soluções preparadas com água desionizada, a qual foi destilada e purificada no desionizador de água, marca Millipore, modelo Milli-Qplus até apresentar resistividade  $18,2 \text{ M}\Omega \text{ cm}^{-1}$  a  $25^\circ\text{C}$ .

- Ácido clorídrico (J. T. Baker);
- Ácido nítrico (J. T. Baker);
- Ácido sulfúrico (Merck);
- Peróxido de hidrogênio (Mallinckrodt);
- Dicromato de potássio (Synth);
- Sulfato ferroso amoniacal (Synth).

## 2.7. Digestão Ácida das Amostras de Sedimento para Quantificar Pb.

Transferiram-se aproximadamente 1,0 g de amostra para tubo de digestão, adicionaram-se 2,0 mL de solução de peróxido de hidrogênio 30% (v/v) e deixou-se em repouso por 12 horas. Após repouso, adicionaram-se 10,0 mL de solução de ácido nítrico 1/1 (v/v), fechou-se a abertura do tubo com plástico PVC com pequenos furos para saída de vapor e aqueceu-se a  $95,0^\circ\text{C}$  durante 15 minutos. Em seguida, adicionaram-se 5,0 mL de solução concentrada de ácido nítrico e aqueceu-se a  $95,0^\circ\text{C}$  durante duas horas em bloco digestor. Após resfriamento, em temperatura ambiente, filtraram-se as amostras com papel de filtro qualitativo *whatman*, coletaram-se os filtrados em balão volumétrico de 25,0 mL e aferiu-se o volume com água desionizada.

## 2.8. Extração e Digestão Ácida das Substâncias Húmicas das Amostras de Sedimento para Quantificar PB.

De acordo com o procedimento para extração das SH adaptado (CLAPP; HAYNES; SWIFT, 1993), utilizou-se solução de hidróxido de sódio  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  em 50,0 g da amostra e agitação mecânica por 4 horas (SANTOS, 2003). Em seguida, para digestão ácida, em 25,0 mL de amostra foram adicionados 2,5 mL de solução de peróxido de hidrogênio 30% (v/v), deixou-se em repouso durante cinco minutos, adicionaram-se mais 2,5 mL de solução de peróxido de hidrogênio e deixou-se em repouso durante 12 horas. Após repouso, adicionaram-se 5,0 mL de solução nitro/perclórica 3:1 (v/v) e aqueceu-se em bloco digestor até a solução tornar-se límpida. Transferiram-se os digeridos para balões volumétricos de 25,0 mL e completou-se o volume com água desionizada (SANTOS, 2003).

## 2.9. Determinação de Carbono Orgânico Total (COT)

O COT foi determinado por titulometria via redução de  $\text{Cr}^{6+}$  em meio ácido sulfúrico utilizando ferroína como indicador, fazendo adaptações de metodologias (GRANER; ZUCCARI; PINHO, 1998).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1. Distribuição de Chumbo Nos Sedimentos

A análise estatística mostrou haver diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nas concentrações de chumbo e de substâncias húmicas (SH) entre os sedimentos coletados nos três mananciais com diferentes tipos de águas sendo, água branca (rio Madeira), água preta (rio Negro) e água clara (rio Tocantins).

A variação entre os valores médios de Pb está apresentada na **Figura 4**, mostrando o grau de oscilação das concentrações de Pb nos sedimentos coletados nos três rios com diferentes tipos de água. Os maiores valores de médias de concentração de Pb foram no rio com tipo de água branca (rio Madeira), em seguida no rio de água clara (rio Tocantins) e rio de água preta (rio Negro). Pode-se estabelecer a seguinte ordem decrescente de média de concentração de Pb nos sedimentos: água branca > água clara > água preta.

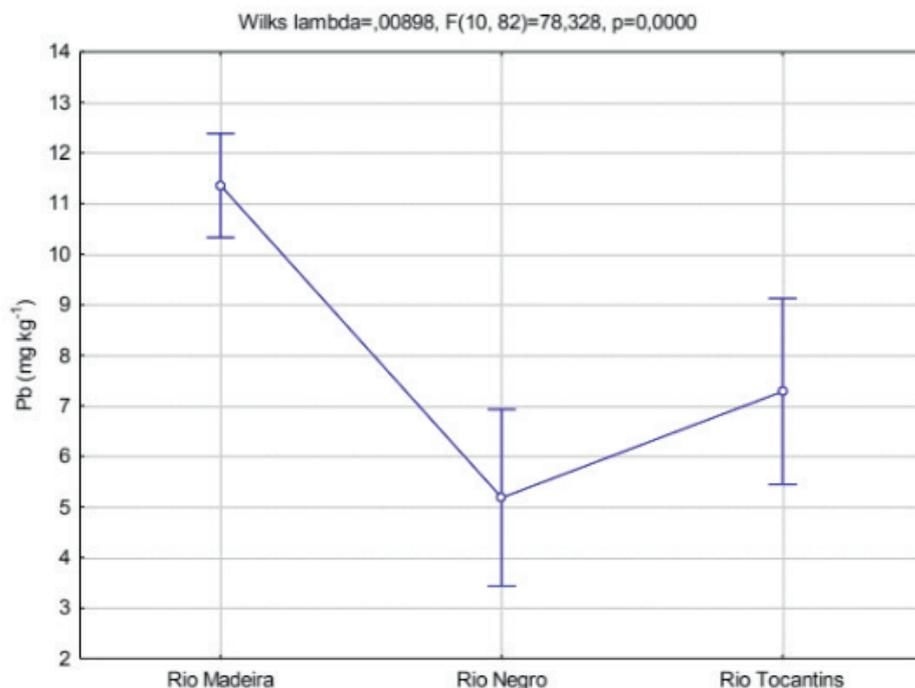


Figura 4. *Boxplot* da análise de variância multivariada (ANOVA) das concentrações de chumbo em amostras de sedimento coletadas nos diferentes tipos de água da Bacia Amazônica (branca – Rio Madeira, clara – Rio Tocantins e preta – Rio Negro).

A **Figura 5** apresenta as médias de concentrações de Pb em cada fração dos rios com diferentes tipos de água e as médias de concentrações tiveram uma

distribuição uniforme nas diferentes frações. Entretanto, no rio com tipo de água preta (rio Negro), as maiores médias de concentração se encontram nas frações de menor granulometria. No rio de água clara (rio Tocantins), até a fração de 500  $\mu\text{m}$ , as médias de concentração apresentam uniformidade na distribuição. Nas frações maiores, existe uma tendência de aumentar a média de concentração de acordo com a granulometria, ou seja, as maiores médias de concentração estão nas frações de maior granulometria. Os resultados obtidos corroboram com valores de concentrações encontrados em estudo de sedimentos de fundo no rio Madeira onde foram obtidos médias de concentrações de 13,47  $\text{mg kg}^{-1}$  (SANTOS, 2003) e o presente trabalho obteve médias de concentrações de  $15,56 \pm 0,19 \text{ mg kg}^{-1}$ .

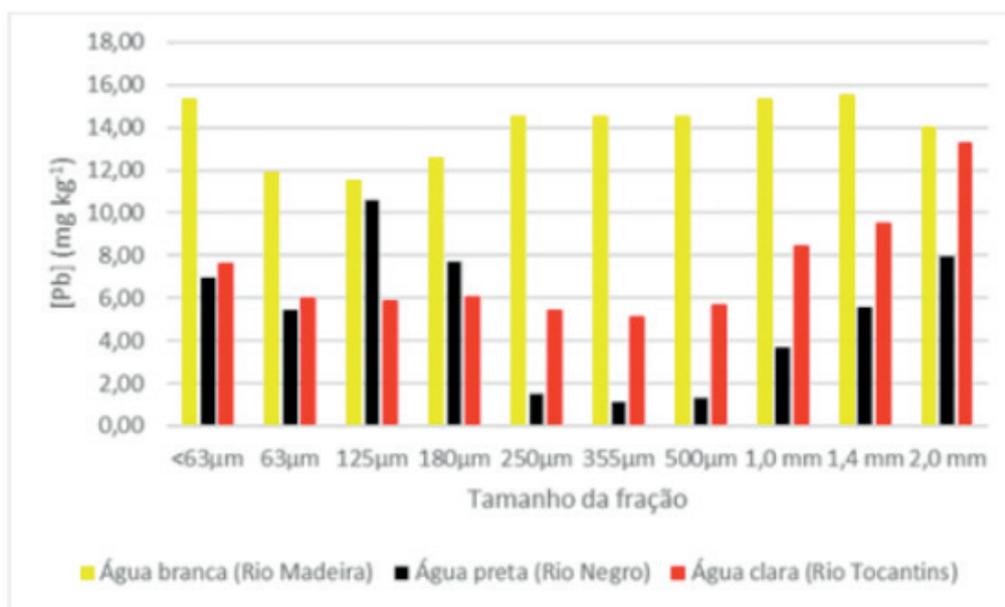


Figura 5. Concentrações de chumbo nas frações de sedimento coletados nos rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica (branca, clara e preta).

A **Tabela 2** apresenta ordem decrescente das médias de concentração de Pb nas frações das amostras de sedimento dos rios com diferentes tipos de água. Percebe-se, em geral, uma distribuição uniforme de média de concentração nas frações do sedimento coletado no rio com tipo de água clara. No rio de água preta, embora ocorra aumento de concentração na fração de 125  $\mu\text{m}$ , nota-se certa uniformidade na distribuição de Pb nas menores frações. Nas frações de 250 a 500  $\mu\text{m}$ , ocorre uma diminuição nos valores de concentração e, nas frações com tamanho de partículas maiores, ocorre aumento nos valores de média de concentração de acordo com o tamanho das partículas. No rio de água clara, as médias de concentração obedecem uma tendência de distribuição uniforme até a fração de 500  $\mu\text{m}$ , entretanto, nas frações com granulometria maior essa tendência muda para um comportamento onde os valores das médias de concentração aumentam de acordo com o aumento do tamanho da partícula.

Tipo de água	Distribuição de Pb nas frações
Água branca (Rio Madeira)	1,4mm > <63µm = 1,0mm > 500µm > 355µm > 250µm > 2,0mm > 180µm > 63µm > 125µm
Água preta (Rio Negro)	125µm > 2,0mm > 180µm > <63µm > 1,4mm > 63µm > 1,0mm > 250µm > 500µm > 355µm
Água clara (Rio Tocantins)	2,0mm > 1,4mm > 1,0mm > <63µm > 180µm > 63µm > 125µm > 500µm > 250µm > 355µm

Tabela 2. Ordem decrescente da distribuição de chumbo nas frações das amostras de sedimento coletadas em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica (branca, clara e preta).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas. Para a classificação do material a ser dragado são definidos critérios de qualidade sendo o nível 1 o limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota e o nível 2 o limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota. Esta resolução preconiza para chumbo 35 e 91,3 mg kg<sup>-1</sup>. Entretanto, a média das concentrações de chumbo determinada nos tipos de águas investigados foram 15,38; 10,62 e 13,31 mg kg<sup>-1</sup> para água branca, água preta e água clara, respectivamente. Valores estes que atendem àqueles preconizados pela Resolução CONAMA nº 454/2012. Ressalta-se que, embora não seja uma legislação específica para a matriz sedimento, para fins de avaliação de reservatórios de hidrelétricas no Brasil, o IBAMA aceita estes padrões como balizadores legais.

### 3.2. Substâncias Húmicas

A variação entre os valores médios de substâncias húmicas (SH) está apresentada na **Figura 6**, mostrando o grau de oscilação desses valores nos sedimentos coletados nos três rios com diferentes tipos de água. Os maiores valores de médias de concentração de SH foram no rio Negro, em seguida no rio Tocantins e no rio Madeira. Pode-se estabelecer a seguinte ordem decrescente de média de concentração de SH nos sedimentos: água preta > água clara > água branca.

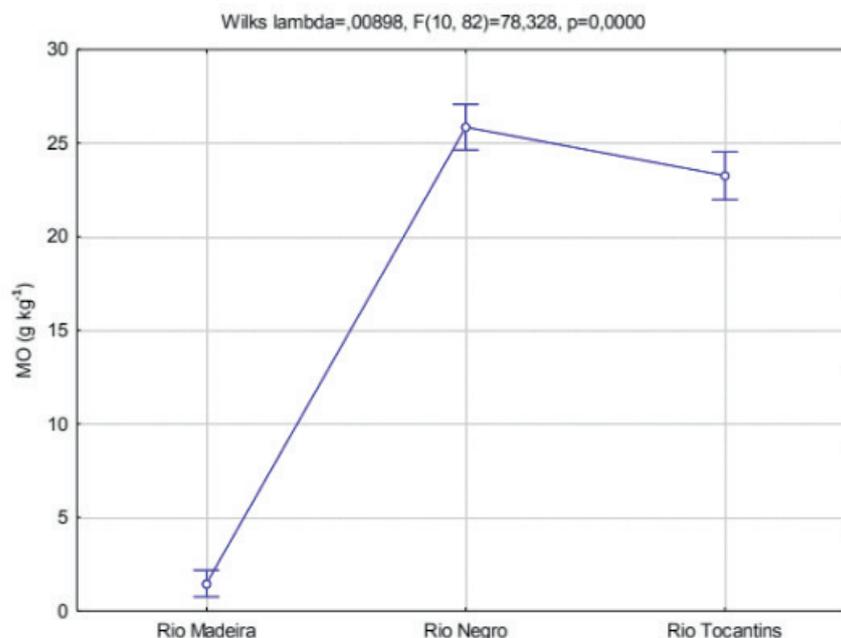


Figura 6. *Boxplot* da análise de variância multivariada (ANOVA) das concentrações de substâncias húmicas em amostras de sedimento coletadas nos diferentes tipos de água da Bacia Amazônica (branca – Rio Madeira, clara – Rio Tocantins e preta – Rio Negro).

Na **Figura 7** estão apresentados os teores de carbono em cada fração dos sedimentos coletados nos rios com diferentes tipos de água. Observa-se que os maiores valores de teor de carbono foram no rio com tipo de água preta seguido pelos valores do rio de água clara e depois do rio de água branca. Ao comparar os valores entre as frações de cada rio, nota-se que os teores de carbono no rio com tipo de água preta são maiores nas frações com menor granulometria, enquanto que, nos rios com tipo de água clara e branca, os maiores valores encontram-se nas frações maiores.

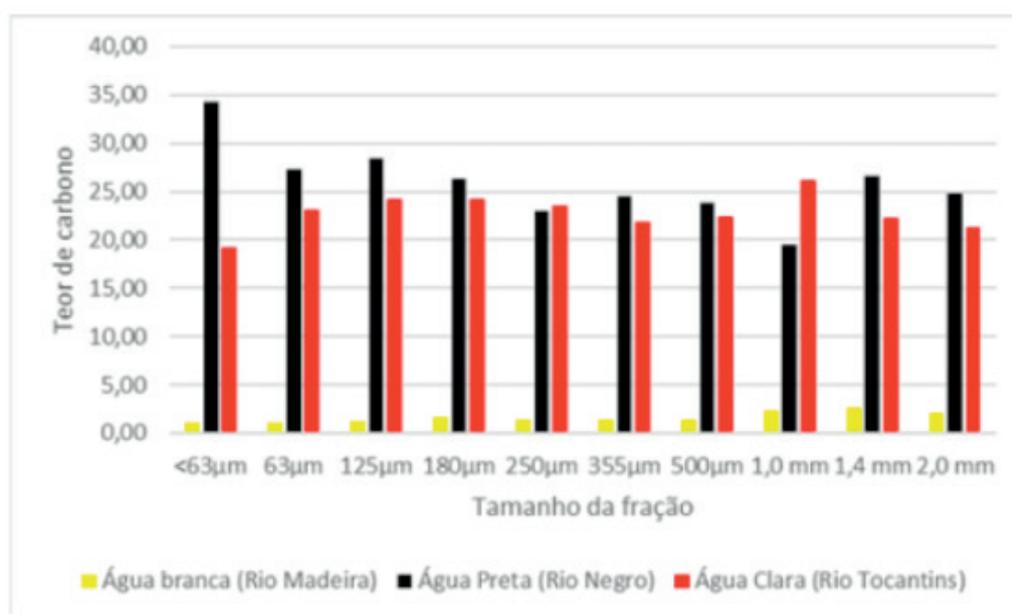


Figura 7. Teor de carbono nas frações de sedimento coletados nos rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica (branca, clara e preta).

A **Tabela 3** apresenta a ordem decrescente de distribuição do teor de carbono

nas diferentes frações dos três rios. No rio com tipo de água preta os maiores teores de carbono foram obtidos nas três menores frações enquanto que, no rio de água branca, o comportamento foi inverso, pois os maiores teores de carbono foram obtidos nas frações com menor granulometria. Quanto ao rio com tipo de água clara, nota-se um comportamento uniforme na distribuição dos teores de carbono nas frações, embora a fração com o maior teor de carbono seja a fração com 1,0 mm.

Tipo de água	Teor de carbono nas frações
<b>Água branca</b> (Rio Madeira)	1,4mm > 1,0mm > 2,0mm > 180 $\mu$ m > 500 $\mu$ m > 250 $\mu$ m > 355 $\mu$ m > 125 $\mu$ m > 63 $\mu$ m > <63 $\mu$ m
<b>Água preta</b> (Rio Negro)	<63 $\mu$ m > 125 $\mu$ m > 63 $\mu$ m > 1,4mm > 180 $\mu$ m > 2,0mm > 355 $\mu$ m > 500 $\mu$ m > 250 $\mu$ m > 1,0mm
<b>Água clara</b> (Rio Tocantins)	1,0mm > 125 $\mu$ m > 180 $\mu$ m > 250 $\mu$ m > 63 $\mu$ m > 500 $\mu$ m > 1,4mm > 355 $\mu$ m > 2,0mm > <63 $\mu$ m

Tabela 3. Ordem decrescente do teor de carbono nas frações das amostras de sedimento coletadas em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica (branca, clara e preta).

### 3.3. Distribuição de Chumbo nas Substâncias Húmicas Extraídas dos Sedimentos

A variação entre os valores médios de Pb nas SH extraídas dos sedimentos está apresentada na **Figura 8**, mostrando o grau de oscilação das concentrações de Pb nas SH dos sedimentos. Os maiores valores de concentrações médias de Pb foram no rio Madeira, em seguida no rio Tocantins e no rio Negro. Pode-se estabelecer a seguinte ordem decrescente de concentrações médias de Pb nas SH extraídas dos sedimentos: água branca > água clara > água preta.

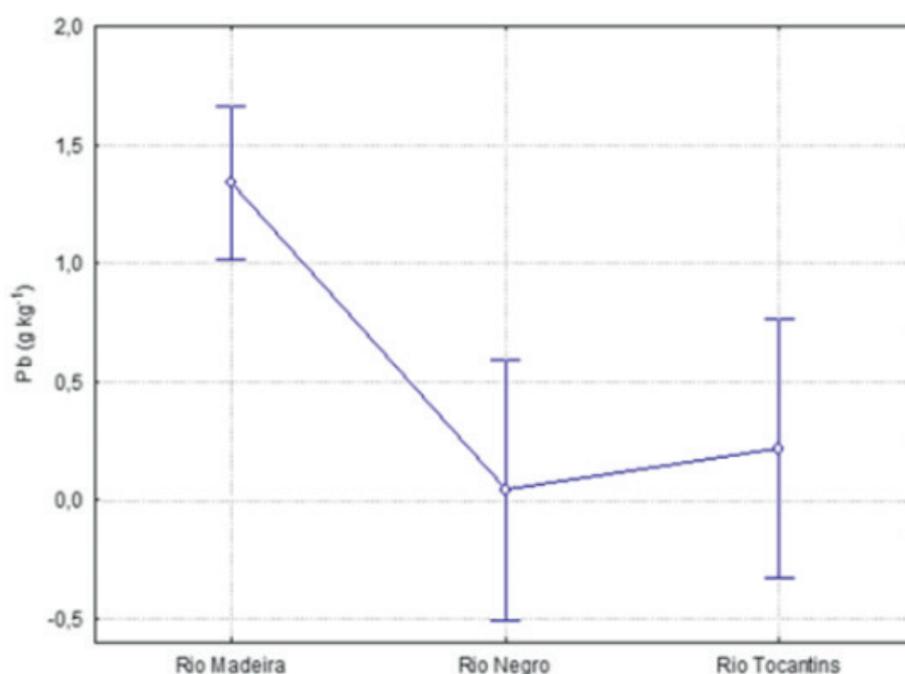
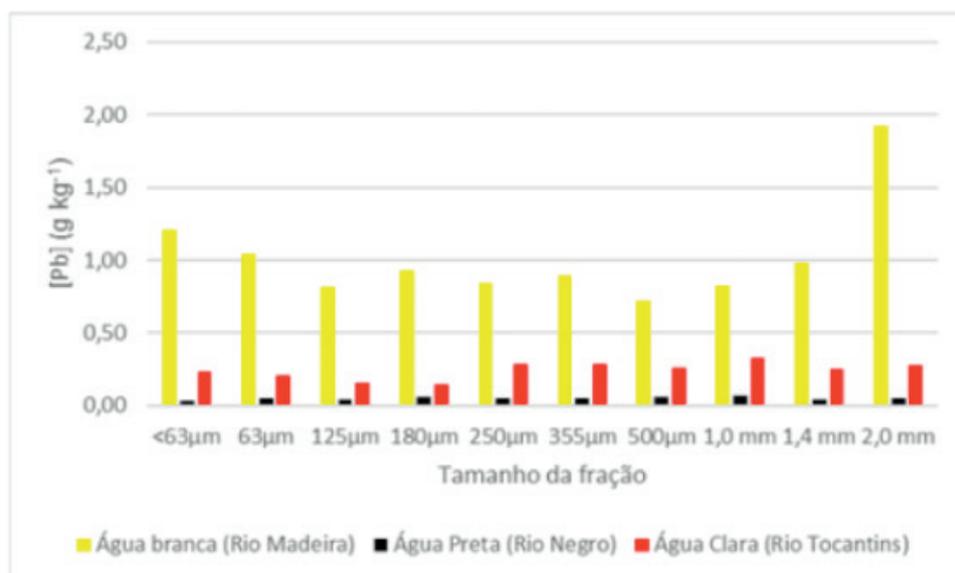


Figura 8. *Boxplot* da análise de variância multivariada (ANOVA) das concentrações de chumbo em substâncias húmicas extraídas de amostras de sedimento coletadas nos diferentes tipos de água da Bacia Amazônica (branca – Rio Madeira, clara – Rio Tocantins e preta – Rio Negro).

A **Figura 9** apresenta as concentrações de Pb nas SH extraídas das frações granulométricas dos sedimentos coletados nos rios com diferentes tipos de água. No rio com tipo de água branca as maiores concentrações foram nas SH extraídas das frações com maior granulometria. No rio com tipo de água clara, observa-se comportamento semelhante ao rio com tipo de água branca, ou seja, as maiores concentrações nas SH extraídas das maiores frações granulométricas. No rio com tipo de água preta, as concentrações de Pb apresentaram distribuição uniforme nas SH extraídas das frações granulométricas.



**Figura 9.** Concentrações de chumbo nas substâncias húmicas extraídas das frações de sedimento coletados nos rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica (branca, clara e preta).

A **Tabela 4** apresenta a ordem decrescente da distribuição de Pb nas SH extraídas das frações dos sedimentos coletados nos rios com tipos de água diferente.

Tipo de água	Distribuição de Pb nas frações
<b>Água branca</b> (Rio Madeira)	2,0mm > <math><63\mu\text{m}</math> > 63 $\mu\text{m}$ > 1,4mm > 180 $\mu\text{m}$ > 355 $\mu\text{m}$ > 250 $\mu\text{m}$ = 1,0mm > 125 $\mu\text{m}$ > 500 $\mu\text{m}$
<b>Água preta</b> (Rio Negro)	1,0mm > 500 $\mu\text{m}$ = 180 $\mu\text{m}$ > 250 $\mu\text{m}$ = 355 $\mu\text{m}$ = 63 $\mu\text{m}$ = 2,0mm > 1,4mm = 125 $\mu\text{m}$ = <math><63\mu\text{m}</math>
<b>Água clara</b> (Rio Tocantins)	1,0mm > 355 $\mu\text{m}$ = 250 $\mu\text{m}$ = 2,0mm > 500 $\mu\text{m}$ = 1,4mm > <math><63\mu\text{m}</math> > 63 $\mu\text{m}$ > 125 $\mu\text{m}$ > 180 $\mu\text{m}$

Tabela 4. Ordem decrescente da distribuição de chumbo nas substâncias húmicas extraídas das frações das amostras de sedimento coletadas em rios com diferentes tipos de água da Bacia Amazônica (branca, clara e preta).

## 4 | CONCLUSÕES

A caracterização da distribuição de chumbo nos sedimentos e substâncias húmicas extraídas de frações granulométricas dos respectivos sedimentos coletados em sistemas aquáticos de diferentes tipos de água da bacia Amazônica é importante

para avaliar a disponibilização dessa espécie metálica para a coluna d'água.

Os maiores valores médios de concentração de chumbo foram no rio com tipo de água branca (rio Madeira) em seguida no rio com tipo de água clara (rio Tocantins) e rio com tipo de água preta (rio Negro). Pode-se estabelecer a seguinte ordem decrescente de média de concentração de Pb nos sedimentos: água branca > água clara > água preta.

Caracterizou-se que substâncias húmicas extraídas das frações de sedimentos coletados no rio de água preta (Rio Negro) tem maior concentração de carbono orgânico total que aquelas extraídas dos sedimentos coletados nos reservatórios de água branca (Rio Madeira) e de água clara (Rio Tocantins).

O conhecimento ainda limitado sobre a dinâmica de metais potencialmente tóxicos nas bacias tropicais aumenta a incerteza das análises quantitativas sobre o destino dessas espécies com a expansão da atividade humana. Ou seja, independentemente da fonte de contaminação, estudos relacionados à elucidação da dinâmica/distribuição de metais potencialmente tóxicos em rios e reservatórios artificiais da bacia Amazônica, são de fundamental importância, por exemplo, para o desenvolvimento do setor hidrelétrico com responsabilidade sócio-ambiental. Cabe ressaltar que estes parâmetros são raramente avaliados por pesquisadores brasileiros e que são de importância estratégica não apenas no cenário internacional, mas principalmente para nortear o manejo adequado destes recursos dentro de um novo modelo econômico para as próximas décadas.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL - Programa P&D (6631-0001/2012); Energia Sustentável do Brasil S. A. – Contrato Jirau 004/13; Instituto de Química de Araraquara-IQAr-UNESP; Venturo Consultoria Ambiental; Venturo Análises Ambientais.

## REFERÊNCIAS

BLOOM, P. R.; MCBRIDE, M. B.; WEAVER, R. M. **Aluminum organic matter in acid soils: buffering and solution aluminum activity.** Soil Sci. Soc. Amer. J., v. 43, p. 488-493, 1979.

BORGES, C. A. R. F.; FERREIRA, L. V. **“Diferentes tipos de ordenamento territorial, uso e ocupação nas rodovias do estado do Pará, uma análise do processo de desflorestamento”**, in Proc. 2010 XVI Encontro nacional dos geógrafos.

BOTERO, W. G.; OLIVEIRA, L. C.; CUNHA, B. B.; OLIVEIRA, L. K.; GOUVEIA, D.; ROCHA, J. C.; FRACETO, L. F.; ROSA, A. H. **Characterization of the interactions between endocrine disruptors and aquatic humic substances from tropical rivers.** Journal of the Brazilian Chemical Society, J. Braz. Chem. Soc., v. 22, n. 6, p. 1103-1110, 2011.

CHRISTOPHORIDIS, C.; DEDEPSIDIS, D.; FYTIANOS, K. **Occurrence and distribution of selected**

**heavy metals in the surface sediments of Thermaikos Gulf, N. Greece. Assessment using pollution indicators.** Journal of Hazardous Materials, v. 168, p. 1082- 1091, set. 2009.

CLAPP, C. E.; HAYNES, M. H. B.; SWIFT, R. S. “**Isolation fractionation, functionalities, and concepts of structure of water: natural constituents and their influences on contaminant behavior.**”, In: A. J. Beck; K. C. Jones; M. H. B. Haynes, *Organic substances in soil and water: natural constituents and their influences on contaminant behavior*. Cambridge, Royal Chemistry Society, 1993 p. 31-69.

FADINI, P. S.; JARDIM, W. F. **Storage of natural water samples for total and reactive mercury analysis in PET bottles.** Analyst, v. 125, p. 549–551, 2000.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIRA, S. S. **O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas.** Estudos Avançados, v. 19, n. 53, p. 1-10., 2005.

FRALICK, P. W.; KRONBERG, B. I. **Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources.** Sedimentary Geology, v.113, p. 111-124, 1997.

GIBBS, R. J. **The geochemistry of the Amazon river system. Part I - the factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids.** Geol. Soc. America Bulletin, v. 78, n. 10 pp. 1203-1232, 1967.

GOLDSTEIN, S. J.; JACOBSEN, S. B. **Nd and Sr isotopic systematic of river water suspended material: Implications for crustal evolution.** Earth and Planetary Sciences Letters, v.87, p. 249-265, 1988.

GOULDING, M.; BARTHEM, R.; FERREIRA, E. **The Smithsonian atlas of the Amazon.** Princeton Editorial Associate, Hong Kong, 2003, p. 253.

GRANER, C. A. F.; ZUCCARI, M. L.; PINHO, S. Z. **Chemical oxygen demand(COD) determination in waters by simultaneous spectrophotometry of chromium(III) and dichromate ions.** Eclética Química, v.23, p.31-44 1998.

GROOT, A. J. “**Metals and sediments: a global perspective**”, in: H. E. Allen. *Metal contaminated aquatic sediments*. Michigan: Ann Airboe Press, 1995. p. 1-20.

IVANISSEVICH, A. **Três cores para os rios amazônicos.** Ciência Hoje, v. 11, n. 1, pp. 47-51, 1990.

KANG, J. **Characteristics of wet and dry weather heavy metal discharges in the Yeongsan Watershed, Korea.** Science of the Total Environment, v. 407, n.11, p. 3482–3493, May. 2009.

KAUSHIK, A.; KANSAL, A.; SANTOSH, MEENA, KUMARI, S.; KAUSHIK, C. P. **Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: Assessment by Metal Enrichment Factor of the Sediments.** Journal of Hazardous Materials, v. 164, p. 265-270, May. 2009.

LACERDA, L. D.; SOLOMONS, W. **Mercury from gold and silver mining: a chemical time bomb?** Berlim: Springer, 1998, p. 146.

McCLAIN, M. E.; RICHEY, J. E.; BRANDES, J. A. **Dissolved organic matter and terrestrial-lotic linkages in the central Amazon basin of Brazil.** Global Biogeochemical Cycles, v. 11, n. 3, p. 295-311, 1997.

MIRANDA, J. C.; MAZZONI, R. **Estrutura e persistência temporal da comunidade de peixes de três riachos do Alto Rio Tocantins, GO.** Biota Neotropica, v. 9, n. 4, p. 71 – 78, out.-dez. 2009.

MOZETO, A. A.; UMBUZEIRO, G. A.; JARDIM, W. F. **Métodos de coleta, análises físico-químicas**

**e ensaios biológicos e ecotoxicológicos de sedimentos de água doce.** São Carlos, SP: Cubo Multimídia & Propaganda, 2006, p. 222.

PRANCE, G. T. **Notes on vegetation of Amazonia III. The terminology of Amazonian forest types subject to inundation.** Brittonia, v 31, p. 26-38, jan. 1987.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. **Substância húmicas aquáticas: interações com espécies metálicas.** São Paulo: Ed. UNESP, 2003. p. 120.

ROCHA, J. C.; ROSA, A.; CARDOSO, A. A.; **Introdução à química ambiental.** 2nd. ed., Porto Alegre: Bookman, 2009, p. 256.

ROCHA, J. C.; TOSCANO, I. A. S.; BURBA, P. **Lability of heavy metal species in aquatic humic substances characterized by ion exchange with cellulose phosphate.** Talanta, v. 44, p. 69-74, 1997.

ROCHA, J. C.; TOSCANO, I. A. S.; CARDOSO, A. A. **Relative lability of trace metals complexed in aquatic humic substances using ion-exchanger cellulose-hyphan.** J. Braz. Chem. Soc., v. 8, p. 239-243, 1997.

SANTORO, A.; BLO, G.; MASTROLITTI, S.; FAGIOLI, F. **Bioaccumulation of Heavy Metals by Aquatic Macroinvertebrates Along the Basento River in the South of Italy.** Water, Air, and Soil Pollution, v. 201, p. 19-31, jul. 2009.

SANTOS, A. **“Interação entre espécies metálicas e substâncias húmicas extraídas de solo da micro Bacia de drenagem do reservatório de captação de água Anhumas – Araraquara-SP.”**, Tese de Doutorado, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SANTOS, R. I. **“Metais pesados em sedimento de fundo no alto rio Madeira, Amazônia ocidental,”** Dissertação de mestrado, Inst. De Ciências Exatas, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

SILVA, L. A.; SCARIOT, A. **Composição florística e estrutura da comunidade arbórea em uma floresta estacional decidual em afloramento calcário (Fazenda São José, São Domingos, GO, bacia do rio Paranã)** ACTA Botânica Brasilica, v. 17, n. 2, p. 305 – 313, abr.-jun. 2003

SIOLI, H. **Amazônia: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais**, 1<sup>a</sup> ed., Vozes: Petrópolis, 1985.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition and reaction**, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 1994.

THOMAS, F.; MASON, A.; BOTTERO, J. Y.; ROUILLER, J.; MONTIGNY, F.; GENÉVRIER, F. **Aluminium(III) speciation with hydroxy carboxylic acids <sup>27</sup>Al NMR study.** Environ. Sci. Technol., v. 27, p. 2511-2516, 1993.

WERSHAW, R. L. **Model for humus in soils and sediments.** Environ. Sci. Technol., v. 27, p. 814-816, 1993.

YI, Y. **Sediment pollution and its effect on fish through food chain in the Yangtze River,** International Journal of Sediment Research, v. 23, p. 338-347, 2008.

## ESTUDO DAS CONDIÇÕES PARA A SÍNTESE DE BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO DE ABACATE E PEROVSKITA RESIDUAL ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ )

### Rondinele Aberto dos Reis Ferreira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade  
de Engenharia Química  
Uberlândia – MG

### Juarez Hilleshein Júnior

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,  
Departamento de Engenharia Química  
Uberaba - MG

### Priscila Pereira Silva

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,  
Departamento de Engenharia Química  
Uberaba - MG

**RESUMO:** O biodiesel é um combustível produzido a partir de fontes renováveis, como óleos e gorduras, através da reação de transesterificação. Ele se apresenta como uma promissora e importante fonte de energia para o Brasil e, por isso, devem ser estudadas maneiras de produzi-lo com maior eficácia. O objetivo deste trabalho se alinha com esta proposta, visto que se realizou um planejamento experimental para o estudo das condições da reação de transesterificação do óleo de abacate, matéria-prima altamente disponível no país, em bateladas utilizando catalisador heterogêneo produzido a partir de resíduos. A equação do rendimento em função dos parâmetros apresentou um coeficiente de ajuste de 0,52 com 90% de confiança. O acréscimo de temperatura

aumentou a porcentagem de biodiesel formado enquanto que a melhor relação molar metanol/óleo foi de 8:1. São necessários mais estudos acerca das condições operacionais para a transesterificação do óleo de abacate. No entanto, os resultados deste estudo norteiam a continuidade dos trabalhos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Catálise heterogênea; planejamento; resíduos; transesterificação.

**ABSTRACT:** Biodiesel is a fuel produced from renewable sources, such as oils and fats, through the transesterification reaction. It presents itself as a promising and important source of energy for Brazil and, therefore, ways to produce it with greater efficiency should be studied. The objective of this work is lined up with this proposal, since an experimental design was carried out to study the reaction conditions of avocado oil batch transesterification, a highly available feedstock in the country, using a heterogeneous catalyst produced from residues. The equation of the yield, as a function of the parameters, presented an adjustment coefficient of 0.52 with a 90% confidence. An increase in temperature incremented the biodiesel formed percentage while the best methanol-oil molar ratio was 8:1. Further studies on the operational conditions for the avocado oil transesterification are necessary. However, the results of this study guide the continuity of the work.

**KEYWORDS:** Heterogeneous catalysis; planning; residues; transesterification.

## 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1 Óleos vegetais

A utilização de óleos vegetais para diversos fins ocorre desde a antiguidade nas civilizações egípcia e greco-romanas, sendo que a extração ocorria de maneira arcaica e em pequenas quantidades, como uma atividade agrícola. Em meados do século XIX, com o advento da Revolução Industrial e, conseqüentemente, de novas tecnologias, o processo de extração de óleos passou a ser realizado por prensas hidráulicas, conferindo altos rendimentos ao processo. Neste mesmo período iniciou-se a extração com o uso de solventes, o que facilitou o processo, o tornou mais barato e elevou ainda mais a produtividade e pureza. As formas como esses componentes se apresentam podem variar entre sólidos e líquidos em temperatura ambiente e isso se deve à estrutura química do triacilglicerol. Sendo assim, são líquidos e considerados óleos os compostos que possuem até quatro insaturações entre carbonos, enquanto que as gorduras têm maior ponto de fusão e são sólidas por terem maior número de saturações em sua cadeia (Gauto & Rosa, 2011).

#### 1.1.1 Óleo de abacate

O abacate é um fruto que chegou ao Brasil no ano de 1809 e atualmente tem o cultivo com finalidade comercial em sete estados (Whiley et al., 2002). Os nutrientes presentes no abacate podem variar por vários aspectos, tais como: clima, estado de maturidade e cultivo. Desta forma, as quantidades de lipídios, em base úmida, presentes nos frutos atingem de 2,5% em espécies caribenhas até 25% nas espécies mexicanas, podendo ser ainda maiores. Em comparação, a azeitona, que dá origem ao azeite de oliva, apresenta quantidades de 14% em frutos colhidos ainda verdes e de 18 a 25% nos que atingiram o estado de maturação (Whiley et al., 2002).

Ferrari (2015) afirmou que “a extração do óleo de abacate a partir de frutos da variedade *Hass* utilizando o processo de obtenção de azeite de oliva adaptado é possível e ambos podem ser produzidos na mesma instalação industrial”, o que possibilita o fornecimento de mais produtos com necessidade de baixo investimento.

As aplicações mais comuns para o óleo de abacate são as indústrias cosmética e farmacêutica e pode ter uso culinário, quando refinado. Além de facilitar a penetração na pele e permitir a formação de emulsões finas, apresenta também uma elevada quantidade de matéria insaponificável em relação a outros óleos vegetais, os quais atuam em problemas dermatológicos (Tango e Turatti, 1991).

De acordo com Whiley et al. (2002), os quatro principais ácidos graxos presentes no óleo de abacate que compõe os lipídios totais são o oleico monoinsaturado (C18:1), palmítoleico (C16:1), linoleico poli-insaturado (C18:2) e palmítico saturado (C16).

## 1.2 Catalisadores heterogêneos

De acordo com Souza e Farias (2013), grande parte das reações químicas industriais faz uso de catalisadores heterogêneos, sejam em reações de fase líquida ou gasosa. Além disso, afirma que aqueles que possuem maiores superfícies de contato são capazes de reduzir consideravelmente a energia de ativação das reações químicas. Um diferencial dos catalisadores heterogêneos é a especificidade, ou seja, diferentes catalisadores podem formar diversos produtos mesmo que se utilizem os mesmos reagentes.

Os catalisadores heterogêneos podem ser divididos em ácidos e básicos, sendo que os últimos, como a ferrita de cálcio, atuam de duas formas na reação de transesterificação do biodiesel. Eles podem ser uma base de Brønsted, abstraindo um próton alcoólico, e também como base de Lewis, doando um par de elétrons para o álcool e formando espécies intermediárias, os alcóxidos. Além disso, são necessárias menores quantidades dos catalisadores básicos na reação de transesterificação se comparados aos catalisadores ácidos; no entanto, estes possuem a vantagem de serem utilizados também para reações de esterificação (Ramos et al., 2017).

A cinética das reações químicas heterogêneas também é influenciada pela presença de alguns sítios específicos, considerados preferenciais pelos reagentes devido à heterogeneidade da superfície da matriz porosa do catalisador. Esta teoria, denominada como a teoria dos sítios ativos, pode ser comprovada pelo envenenamento catalítico, que consiste na reação dos sítios ativos com um composto diferente dos reagentes, diminuindo a eficiência do processo reacional (Souza e Farias, 2013).

## 1.3 Ferrita de Cálcio - $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$

A ferrita de cálcio é uma perovskita, um tipo de material cerâmico, que pode ser encontrada na natureza como um mineral ortorrômbico raro conhecido como Srebrodolskita. A ferrita de cálcio sintetizada por reação sólida em duas diferentes temperaturas foi comprovada por difração de raios X como ortorrômbica e verificou-se que houve uma redução dos parâmetros de rede da estrutura cristalina de 1100 para 1300 °C. A estrutura cristalina da ferrita de cálcio consiste na intercalação entre sítios octaédricos contendo ferro com camadas de cálcio e ferro arranjados em tetraedro e novamente com cálcio (Berastegui et al., 1999). Kawashima et al. (2008) testaram a ferrita de cálcio e outros catalisadores sintetizados em laboratório para a produção de biodiesel usando óleo de colza e metanol em condições brandas de temperatura, obtendo rendimento de 92% em ésteres metílicos para o  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ .

## 1.4 Biodiesel

O biodiesel pode ser classificado como um combustível formado por uma mistura de ésteres de ácidos graxos majoritariamente obtido a partir da transesterificação catalítica de óleos vegetais a partir de hidróxidos alcalinos como catalisadores (Knothe

e Razon, 2017).

A rota química utilizada atualmente para a formação de biodiesel é a da catálise homogênea com hidróxidos. No entanto, etapas de purificação de ambos os produtos da reação são necessárias gerando águas residuais com sais e glicerina com até 80% de pureza. Gauto e Rosa (2011) apontam que o processo mais comum de produção do biodiesel no Brasil é via transesterificação metílica, utilizando uma fonte de triglicerídeos e um catalisador. E ainda, que “são usados como biocombustível e, para cada 100 m<sup>3</sup> de óleo vegetal processado por essa rota, são obtidos 10 m<sup>3</sup> de glicerol”. Além disso, consideram a rota etílica mais vantajosa no Brasil, devido à maior disponibilidade do etanol. No entanto, ainda não se separam bem os produtos e são necessárias melhorias no processo como um todo. Ramos et al. (2017) apontam que o metanol apresenta algumas vantagens em relação ao etanol na reação de transesterificação, pois apresenta menor custo, ponto de ebulição e não forma azeótropos com a água. Além do mais, o etanol gera nucleófilos com maior obstrução pelos ésteres no processo de catálise homogênea.

Tendo em vista a atual realidade brasileira de produção e consumo de biodiesel, o escopo deste trabalho é avaliar as condições reacionais da transesterificação do óleo de abacate, fruto típico de regiões tropicais e de alta disponibilidade, utilizando um catalisador sólido sintetizado a partir de materiais residuais.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparo dos catalisadores

Lavaram-se cascas de ovos recolhidas de uso doméstico em água a temperatura ambiente e levou-se o material à estufa para secagem a 70 °C. Em seguida, realizou-se a moagem com pistilo em um almofariz e separou-se o material em uma peneira de 250  $\mu\text{m}$  com o objetivo de aumentar a área de contato. Retornou-se o retido na peneira ao almofariz até que todo o pó de casca possuísse aproximadamente o mesmo tamanho de partícula. Calcinou-se o material em forno mufla configurada inicialmente a 200 °C por 15 minutos. Repetiu-se o procedimento para as temperaturas de 400 e 800 °C e, finalmente, manteve-se a 1050 °C por 4 horas para eliminar os resíduos proteicos e demais impurezas presentes no material e dar origem ao carbonato de cálcio.

O resíduo de ferro foi recolhido em uma serralheria na forma de agregados. Triturou-se o resíduo com pistilo em um almofariz até que atingisse 250  $\mu\text{m}$ . Realizou-se então a oxidação do pó de ferro em solução aquosa de ácido acético glacial 50% em volume (v/v). O ferro foi mantido na solução por um período de 24 horas com agitações intermitentes. Evaporou-se a solução em chapa aquecedora e capela e secou-se em estufa configurada a 200 °C.

Numa primeira etapa realizou-se a mistura física dos óxidos de ferro e carbonato de cálcio provenientes dos materiais residuais na forma sólida a uma razão molar de

1:2 em um almofariz com pistilo por 10 minutos. O processo de calcinação foi realizado em ar atmosférico, a uma taxa de aquecimento constante de 2 °C/min até atingir 900 °C, e com taxa de 10 °C/min até 1050 °C, temperatura em que permaneceu por 4 horas para a obtenção do  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  (Kawashima et al., 2008).

Sintetizou-se o mesmo catalisador a partir dos reagentes laboratoriais de alta pureza a fim de comparação dos resultados através de difração de raios X. Utilizou-se o óxido de ferro e o carbonato de cálcio nas mesmas proporções e juntamente à metodologia proposta por Kawashima et al. (2008).

## 2.2 Difração de Raios X

Os catalisadores foram caracterizados por técnica de DRX utilizando comprimento de onda ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ) e um difratômetro Shimadzu XRD-6000 com radiação  $\text{CuK}\alpha$ . As varreduras foram realizadas em um intervalo  $2\theta$  de 5 a  $90^\circ$  com passo de  $0,02^\circ$  e velocidade de  $1,2^\circ/\text{min}$ . Para a geração dos gráficos de comparação e tratamento dos dados, utilizou-se o *OriginPro 8.5* e o banco de dados de cristais inorgânicos ICSD FIZ Karlsruhe, respectivamente.

## 2.3 Testes do óleo de abacate

Foram realizados testes em triplicata das propriedades físico-químicas do óleo de abacate comercial da marca Duom, extraído através de prensagem a frio, seguindo os procedimentos estabelecidos pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). O teste de acidez indica o estado de conservação do óleo, visto que os processos de degradação dos glicerídeos alteram a concentração de hidrogênio pela presença de ácidos graxos livres. Pesou-se 2 g do óleo de abacate e após adicionados 25 mL de solução éter-álcool (2:1), realizou-se a titulação com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M e fenolftaleína. O índice de acidez (IA) foi calculado por (1):

$$IA = \frac{(5,6 * V * f)}{m} \quad (1)$$

Sendo V o volume de NaOH em mL, f o fator de correção da solução de NaOH e m a massa de óleo em g.

O índice de peróxidos determina o estado de oxidação inicial do óleo. Estes compostos geralmente estão presentes no óleo devido aos processos de oxidação. Foram preparadas as soluções saturada de iodeto de potássio (KI), amido 1% (m/v) e ácido acético-clorofórmio (3:2). Pesou-se aproximadamente 5 g de óleo, acrescentou-se 30 mL da solução ácido-clorofórmio e 0,5 mL da solução KI e manteve-se por 60 segundos ao abrigo da luz. Foram adicionados 30 mL de água destilada e efetuou-se a titulação com tiosulfato de sódio (0,1 N) sob agitação constante. Ao perceber o desaparecimento do amarelo escuro, despejou-se 0,5 mL de amido 1% e continuou-se a titulação até a cor azul desaparecer. O mesmo procedimento foi realizado para um branco analítico sem a amostra de óleo. O índice de peróxidos (IP) foi calculado de

acordo com a equação (2):

$$IP = \frac{(A - B) * N * f * 1000}{m} \quad (2)$$

Onde A e B são os volumes, em mL, de tiosulfato gastos na titulação da amostra e do branco, respectivamente, N e f são a concentração e fator de correção da solução de tiosulfato e m a massa de óleo em g.

Determinou-se também a densidade do óleo por picnometria a 25 °C. Posteriormente, sabendo a composição dos ácidos graxos do óleo de abacate prensado a frio (tabela 1), determinado por Eyres et al. (2001), calculou-se a massa molar do óleo ( $MM_{\text{óleo}}$ ) seguindo a metodologia de Chaves (2008) de acordo com a equação 3:

$$MM_{\text{óleo}} = 38,04 + 3 \sum \frac{(\%AG * MM_{AG})}{\sum (\%AG)} \quad (3)$$

Onde %AG é a porcentagem do ácido graxo presente e  $MM_{AG}$  a massa molar do mesmo em g/mol. A porcentagem utilizada nos cálculos foi feita pela média entre as faixas e corrigida para um total de 100%.

Ácido Graxo	Estrutura Carbônica	% Ácido Graxo
Palmítico	16:0	12.5-14.0
Palmitoleico	16:1	4.0-5.0
Estearico	18:0	0.2-0.4
Oleico	18:1	70-74*
Elaídico	18:1	-
Linoleico	18:2	9.0-10.0
Alfa-linolênico	18:3	0.3-0.6
Eicosanoico	20:0	0,1
Gadoleico	20:1	0,1

Tabela 1. Composição em ácido graxo do óleo de abacate.

\* Porcentagem inclui o isômero em 5% (Elaídico).

## 2.4 Planejamento de experimentos

O planejamento de experimentos foi usado para otimizar as condições operacionais para o rendimento em porcentagem de ésteres na reação de transesterificação usando  $Ca_2Fe_2O_5$  como catalisador. Os experimentos foram conduzidos de acordo com um planejamento composto central com quatro pontos centrais, resultando em 18 experimentos, usando alfa de ortogonalidade ( $\alpha$ ) de 1,41421.

Os parâmetros do processo foram definidos como temperatura de reação (50 a 70 °C), tempo de reação (4 a 10 h) e relação molar metanol/óleo (2:1 a 14:1). A seleção dos níveis foi definida de acordo com a literatura e de acordo com as condições de trabalho nos laboratórios de pesquisa. O efeito de cada parâmetro e suas interações

no rendimento em porcentagem de ésteres foram estudados usando um planejamento composto central (PCC) acoplado com o método da superfície de resposta (MSR), desenvolvido pelo software *Statistica 7.0*. Os rendimentos em porcentagem de ésteres obtidos foram ajustados em um modelo quadrático usando análise de regressão a um nível de confiança de 90%.

### 2.4.1 Otimização

A técnica de análise canônica foi empregada para determinar as condições ideais da temperatura de reação ( $T_R$ ), tempo de reação ( $t_R$ ) e razão molar metanol/óleo de abacate (MO) para a reação de transesterificação em batelada. De acordo com Box e Tiao (1977), a função de resposta pode ser expressa em termos de novas variáveis  $w_1, w_2, \dots, w_k$ , cujos eixos correspondem aos eixos principais do sistema de contorno. Assim, a forma canônica consiste na função em termos dessas novas variáveis e é dada de acordo com a equação (4):

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \lambda_1 w_1^2 + \lambda_2 w_2^2 + \dots + \lambda_k w_k^2 \quad (4)$$

A natureza do ponto estacionário da superfície ( $x_0$ ) pode ser determinada pelo sinal e magnitude das raízes características ( $\lambda_i$ ). Se  $\lambda_i < 0$ , um movimento em qualquer direção a partir do ponto estacionário resulta em uma diminuição em  $y$ , o que significa que o ponto estacionário é um ponto de máximo. Em contraste, se  $\lambda_i > 0$ , o ponto estacionário é um ponto de mínimo. Se  $\lambda_s$  diferem em sinal, o ponto estacionário representa um ponto de sela (Box & Tiao, 1977). A análise canônica foi implementada utilizando o software *Maple 17*.

## 2.5 Síntese do biodiesel e quantificação do biodiesel

As corridas experimentais para a reação de transesterificação do óleo de abate foram realizadas em bateladas em um reator encamisado de 250 mL acoplado a um condensador de refluxo, devidamente isolado com plástico parafilme (Parafilm) para impedir o vazamento de metanol. Um banho termostático foi utilizado para manter a temperatura reacional constante. Após o término da reação, as amostras foram acondicionadas em um congelador para evitar os processos de degradação. Em seguida, realizaram-se os processos de separação das fases por centrifugação a 2000 rpm por 5 minutos. O biodiesel foi retirado e encaminhado para a estufa a 70 °C por 1 hora para evaporação do metanol residual. Determinou-se o rendimento em ésteres pela técnica de cromatografia gasosa em um cromatógrafo gasoso Shimadzu – GC2010 utilizando como padrão interno o heptadecanoato de metila, seguindo a metodologia de Rade et al. (2015).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Difração de raios X – DRX

A figura 1 apresenta os dados da análise de difração de raios X para os catalisadores produzidos a partir dos reagentes laboratoriais, em vermelho (superior), e o catalisador produzido a partir de materiais residuais, em azul (inferior).

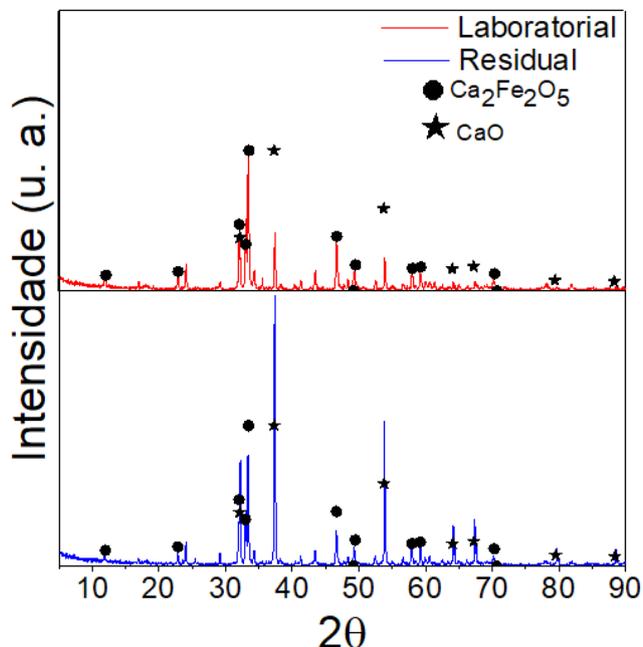


Figura 1. Difração de raios X dos catalisadores.

Observou-se pela comparação com os dados do CaO (ICSD 51409) e  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  (ICSD 5470) que as duas amostras apresentaram uma semelhança com os padrões nos picos localizados em  $2\theta$  iguais a  $22,78^\circ$ ;  $33,41^\circ$ ;  $46,5^\circ$ ;  $49,4^\circ$ ;  $58,04^\circ$  e  $59,3^\circ$  para o  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ , indicando que a reação em fase sólida pela calcinação gerou este produto. Já nos ângulos  $32,15^\circ$ ;  $37,19^\circ$ ;  $53,89^\circ$ ;  $64,28^\circ$  e  $67,16^\circ$  compatíveis com o CaO, comprovam que possivelmente nem todo o carbonato de cálcio foi consumido para gerar a estrutura final da ferrita de cálcio, originando o seu óxido pela decomposição química, e que possivelmente contribuiu positivamente para a atividade catalítica da perovskita residual  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5/\text{CaO}$  obtida e representada em azul (inferior) na figura 1, já que, possivelmente, apresentou sítios básicos.

#### 3.2 Testes do óleo de abacate

O valor médio para o índice de acidez do óleo de abacate foi de aproximadamente 1,496 mg KOH/g de óleo, com desvio padrão de  $\pm 0,001$ , que está em conformidade com o valor máximo estipulado para óleos prensados a frio de 4,0 mg KOH/g de óleo (Codex, 2009). Além disso, o valor do desvio padrão para a execução dos testes foi muito baixo, indicando que os valores distanciaram pouco do valor médio. Com relação ao valor do índice de peróxidos, o valor médio foi de 12,014 meq/Kg, abaixo

do nível máximo estipulado de 15 meq/Kg (Codex, 2009). O desvio padrão de  $\pm 0,006$  para o teste de peróxidos também aponta que os valores se distanciaram pouco da média. Os valores de densidade do óleo apresentaram média de aproximadamente  $0,908 \text{ g/cm}^3$  (desvio padrão de  $\pm 0,0001$ ), condizentes com a densidade de óleos em geral, conforme aponta o trabalho de Fernandes et al. (2015). A massa molar média determinada para o óleo de abacate foi de  $870,77 \text{ g/mol}$  e foi necessária para calcular as massas de metanol em g para cada experimento. Não foram encontrados valores de referência na literatura para o óleo de abacate. No entanto, este valor aproximou-se da massa molar de outros óleos vegetais com composição em ácidos graxos similares.

### 3.3 Planejamento experimental – Análise global

Para a análise global foi efetuada uma regressão múltipla obtendo-se os parâmetros relacionados às variáveis isoladas, às interações e aos termos quadráticos. As variáveis independentes avaliadas foram adimensionalizadas, conforme mostra a tabela 2, a qual apresenta também as respectivas faixas experimentais das variáveis.

Variável	Faixa Experimental	Adimensionalização
Temperatura de reação ( $\delta_1$ )	50 a 70 °C	$X_1 = (\delta_1 - 60)/7$
Tempo de reação ( $\delta_2$ )	4 a 10 h	$X_2 = (\delta_2 - 7)/2$
Relação molar metanol/óleo ( $\delta_3$ )	2 a 14	$X_3 = (\delta_3 - 8)/4$

Tabela 2. Faixa experimental das variáveis analisadas.

A equação empírica obtida por regressão múltipla para representar o rendimento em porcentagem de ésteres em função das variáveis independentes analisadas pode ser visualizada na equação 5:

$$R(\%) = 42,54 + 4,86X_1 - 2,65X_1^2 + 2,8X_2 + 0,62X_2^2 + 0,73X_3 - 9,39X_3^2 - 2,32X_1X_2 - 1,85X_1X_3 + 0,05X_2X_3 \quad (5)$$

Onde R (%) é o rendimento em porcentagem de ésteres.

Para a resposta rendimento em ésteres foram significativas a variável isolada temperatura de reação ( $X_1$ ) e a variável quadrática relação metanol/óleo ( $X_3$ ), com contribuição negativa. Observou-se também que a equação 5 apresentou coeficiente de variação explicada ( $R^2$ ) de 0,52 para um nível de confiança de 90%. Possivelmente obteve-se esse valor devido a não repetibilidade das reações para confirmação dos valores encontrados. Contudo, a ocorrência de diversos problemas dificultou a realização das triplicatas, como quebra e falta de reatores, restrições na utilização dos laboratórios, utilização de reagentes caros (padrão heptadecanoato de metila – C17) e equipamentos de outra universidade, diminuindo assim, a quantidade de análises realizadas.

A figura 2 apresenta a superfície de resposta para o rendimento em porcentagem de ésteres em função das variáveis temperatura de reação ( $X_1$ ), tempo de reação ( $X_2$ ) e relação molar metanol/óleo de abacate ( $X_3$ ).

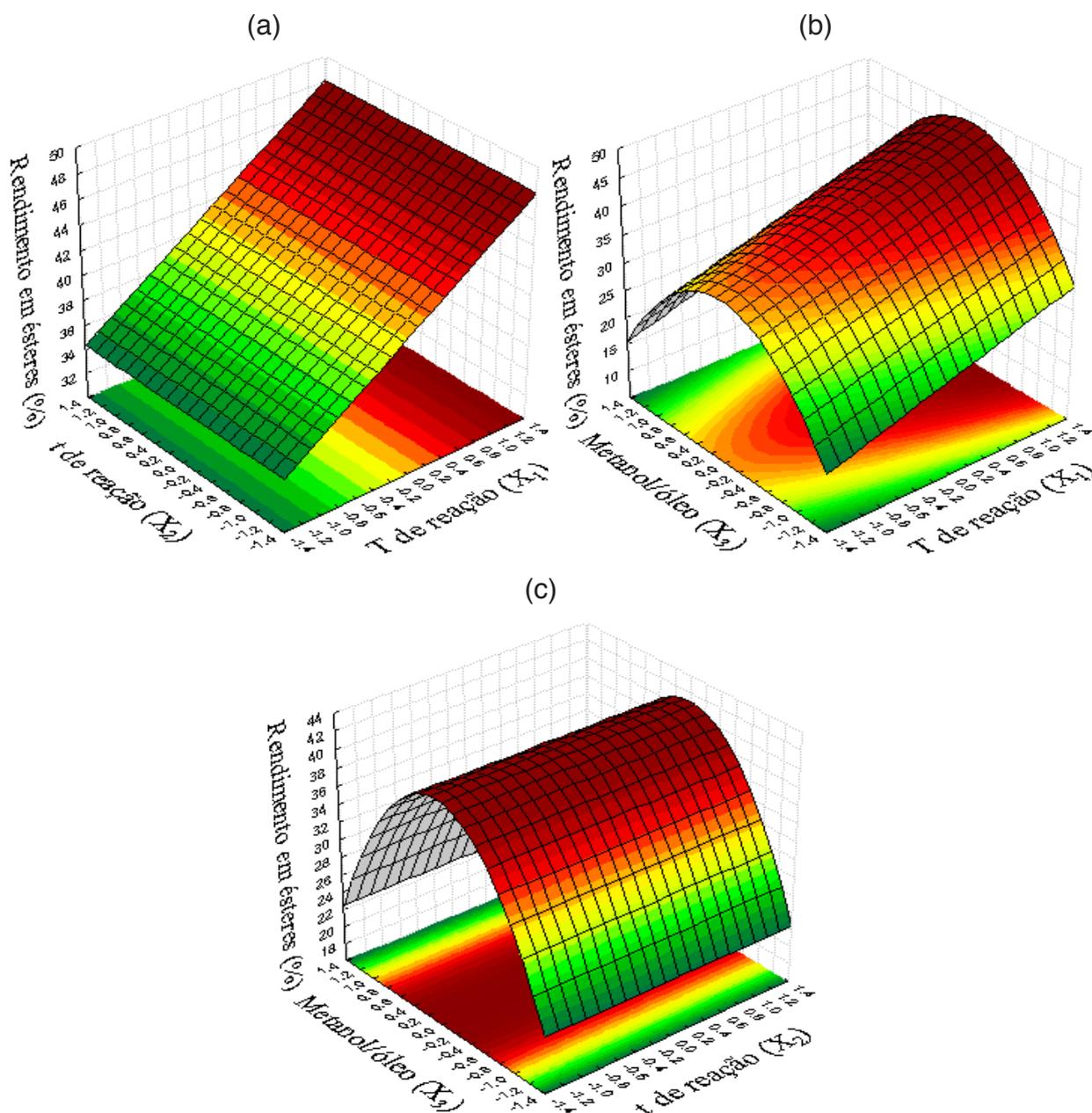


Figura 2. Superfícies de resposta para o rendimento em porcentagem de ésteres:  
(a) temperatura de reação ( $X_1$ ) e tempo de reação ( $X_2$ ), para relação molar metanol/óleo no nível central ( $X_3=0$ );  
(b) tempo de reação no nível central ( $X_1=0$ );  
(c) temperatura de reação no nível central ( $X_2=0$ ).

De acordo com a figura 2a observou-se que os maiores valores para o rendimento em porcentagem de ésteres foram alcançados quando houve acréscimos na temperatura de reação, com valor máximo de aproximadamente 48% e relação molar metanol/óleo no nível central (8:1). Observou-se também que, neste caso, o tempo de reação não influenciou significativamente na resposta. Este fato mostrou que o processo pode ser efetuado em menores tempos, com menor gasto energético e ganho econômico na reação de catálise heterogênea, de acordo com os limites

escolhidos e estudados nesta pesquisa.

Ao analisar a figura 2b foi possível observar também que o rendimento em porcentagem de ésteres aumentou conforme o aumento da temperatura e com o valor no nível central para a relação molar metanol/óleo (8) e para o tempo de reação (7 h), com valor aproximado de 48%, ainda com ganho e economia de tempo ao se comparar com uma reação de 10 h. Além disso, observou-se também outras duas regiões ao se analisar a variável relação molar metanol/óleo ( $X_3$ ), uma acima e outra abaixo do valor no nível central. Nestas duas regiões foi possível observar que o valor do rendimento em porcentagem de ésteres sofreu decréscimos, com valores aproximados de 30%. Com esta observação foi possível afirmar que há uma relação entre metanol/óleo que otimiza o processo (nível central), evitando perdas de reagentes desnecessariamente, objetivando a viabilização da conversão do óleo de abacate em biodiesel. Completando a análise das interações entre as variáveis estudadas, a figura 2c evidencia, assim como as figuras 2a e b, que as melhores condições para a relação molar metanol/óleo se encontra na faixa de valores descodificados de 7,2 a 8,8, contemplando também o valor no nível central e a temperatura de reação no nível central (60 °C), com o tempo de reação não interferindo significativamente na resposta rendimento em porcentagem de ésteres

Os testes de transesterificação com a ferrita de cálcio foram realizados por Hilleshein Jr. et al. (2017) via catálise heterogênea com óleo de soja para ambos os catalisadores laboratorial e residual e obtiveram-se rendimentos de 83,8 e 83,57%, respectivamente. Isso comprova que o catalisador residual apresentou alta atividade catalítica juntamente ao catalisador sintetizado com reagentes de elevada pureza. Wolf et al. (2017) elaboraram um planejamento  $2^3$  e utilizaram da rota metílica e catálise homogênea para a produção de biodiesel com óleo de soja residual variando a massa de catalisador, tempo e relação volumétrica metanol/óleo e obtiveram rendimentos mínimo e máximo de 55,84% e 97,53%, respectivamente.

### 3.3.1 Análise canônica para o rendimento em porcentagem de ésteres

Para o rendimento em porcentagem de ésteres, calculando as raízes características do modelo ajustado de segunda ordem apresentado na equação 5, tem-se  $\lambda = [-9,52; -2,90; 0,99]$ . Sendo assim, na forma canônica a superfície ajustada para o rendimento em porcentagem de ésteres pode ser colocada conforme a equação (6):

$$\hat{y} = \hat{y}_0 - 9,52w_1^2 - 2,90w_2^2 + 0,99w_3^2 \quad (6)$$

De acordo com os valores obtidos para as raízes características, observou-se que não existiu um ponto de mínimo ou de máximo, uma vez que as raízes apresentaram sinais diferentes, denominando-se um ponto de sela. Efetuando-se os cálculos para o

rendimento em porcentagem de ésteres, obteve-se o seguinte ponto estacionário ( $x_0$ ):

$$x_0 = \begin{bmatrix} 1,06 \\ -0,27 \\ -0,07 \end{bmatrix}$$

Analisando o ponto estacionário, observou-se que todos os valores das variáveis (temperatura de reação, tempo de reação e relação molar metanol/óleo) encontraram-se dentro da região experimental escolhida no planejamento (-1,41 a +1,41), obtendo um valor para rendimento em porcentagem de ésteres de 44,7%. Contudo, esta porcentagem é menor que a observado nas superfícies de resposta, devendo a otimização ser feita pela análise da superfície ajustada (equação 5 e figura 2).

### 3.3.2 Relação entre as variáveis $w_i$ e $x_i$ para o rendimento em porcentagem de ésteres

A superfície ajustada para o rendimento em porcentagem de ésteres, de acordo com forma canônica, pode ser escrita conforme a equação 6. De acordo com os resultados obtidos para as raízes características ( $\lambda_i$ ), observou-se que  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$  foram negativas e  $\lambda_3$  foi positiva, caracterizando um ponto de sela e qualquer movimento na direção de  $w_3$  irá aumentar o valor da resposta rendimento em porcentagem de ésteres, objetivo desta análise. Isso foi possível relacionando as variáveis canônicas com as três variáveis independentes ( $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$ ), de acordo com a equação 7:

$$w = M'(X - X_0) \quad (7)$$

Desenvolvendo-a, temos as seguintes equações de recorrência:

$$\begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0,1357x_1 + 0,0746 - 0,0131x_2 - 0,9907x_3 \\ -0,9411x_1 + 0,9211 - 0,3109x_2 + 0,1330x_3 \\ -0,3097x_1 + 0,5895 + 0,9504x_2 + 0,0299x_3 \end{bmatrix}$$

De acordo com as equações de recorrência, encontraram-se condições em  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  que dão valor zero para  $w_1$  e  $w_2$  e vários valores para  $w_3$ . Os resultados codificados e decodificados para as variáveis  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$  são apresentados nas tabelas 3 e 4, respectivamente.

De acordo com a tabela 4 foi possível observar que para valores de  $w_3$  menores que -4 (em negrito), os valores para a variável decodificada  $t_R$  (tempo de reação) são negativos, ou seja, fisicamente impossíveis de serem aplicados. Pode ser observado também que para valores de  $w_3$  maiores que 7 obtêm-se rendimentos em porcentagens de ésteres acima de 100, ou seja, não aplicáveis.

$w_3$	-6	-5	<b>-4</b>	-3	-1	2	7	8	9
$X_1$	2,9	2,6	<b>1,99</b>	1,68	4,2	0,44	-1,11	-1,42	-1,72
$X_2$	-5,9	-5,0	<b>-3,12</b>	-2,17	-1,33	1,63	6,38	7,33	8,28
$X_3$	-0,25	-0,2	<b>-0,15</b>	-0,13	-0,09	-0,01	0,14	0,17	0,2

Tabela 3. Valores de  $w_3$  de acordo com os valores codificados de  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$ .

$w_3$	-6	-5	<b>-4</b>	-3	-1	2	7	8	9
$T_R$ (°C)	80,4	78,3	<b>76,1</b>	73,9	69,6	63,1	52,2	50,1	47,9
$t_R$ (h)	-4,9	-3	<b>-1,1</b>	0,7	4,5	10,3	19,7	21,7	23,6
$MO$	7	7,1	<b>7,2</b>	7,4	7,6	7,9	8,6	8,7	8,8
$R$ (%)	80,6	69,6	<b>60,7</b>	53,7	45,7	48,7	93,6	108,6	125,6

Tabela 4. Valores de  $w_3$  de acordo com os valores decodificados de  $X_1$ ,  $X_2$  e  $X_3$ .

Desta forma, levando em consideração a economia e viabilidade do processo, de acordo com a equação 5 obtida por regressão múltipla dos dados de rendimento  $R(\%)$  e a otimização realizada, observou-se que a melhor condição para a reação de transesterificação heterogênea, utilizando o catalisador tipo perovskita  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  foi a condição com valor de  $w_3$  igual a -3, com rendimento em porcentagem de ésteres de aproximadamente 53,7. Com esta análise observou-se também que um aumento na temperatura de aproximadamente 4 °C (73,9 °C) em comparação com o valor máximo utilizado no planejamento (70 °C) foi responsável pelo aumento de aproximadamente 13,8% no valor do rendimento em porcentagem de ésteres, levando em consideração os valores nos níveis centrais para tempo de reação (7 h) e relação molar metanol/óleo (8:1).

#### 4 | CONCLUSÃO

O catalisador proveniente de fontes residuais apresentou cristalinidade semelhante à estrutura da perovskita  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  produzida com reagentes de alta pureza. O tempo de reação e a proporção molar entre os reagentes pouco influenciaram no rendimento percentual de biodiesel e o melhor deles para as faixas estudadas foi de aproximadamente 48% para 7 horas de reação a 70 °C e relação metanol/óleo de 8:1. A otimização mostrou que a melhor condição para a realização da transesterificação esteve a aproximadamente 4 °C de diferença da máxima temperatura realizada nos experimentos com 7 h de reação e relação molar metanol/óleo 8:1, aumentando em quase 14% o rendimento de biodiesel formado (53,7%).

## REFERÊNCIAS

- BERASTEGUI P.; ERIKSSON, S.-G.; HULL, S. **A neutron diffraction study of the temperature dependence of  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$** . *Materials Resources Bulletin*, v. 34, p. 303-314, 1999.
- BOX G.E., TIAO, G.C. **A canonical analysis of multiple time series**. *Biometrika*, v. 64, p. 355-365, 1977.
- CHAVES, A. T. C. A. **Otimização do processo de produção de biodiesel etílico do óleo de girassol (*heliannthus annus*) aplicando um delineamento composto central rotacional (DCCR)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Codex Alimentarius. *Current official Standards - CODEX STAN (210)*. 2009. **Standard for Named Vegetable Oils**. Disponível: < [http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/it/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2B210-1999%252FCXS\\_210e.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/it/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCODEX%2B210-1999%252FCXS_210e.pdf) >. Acesso em: 4 jul. 2018.
- EYRES, L.; SHERPA, L.; HENDRIKS, G. **Avocado oil: A new edible oil from Australasia**. *Lipid Technology*, v. 13, p. 84-88, 2001.
- FERNANDES, A. M.; COSTA, A. A.; SILVA, C. C.; SILVEIRA, T. **Comparação das Propriedades Físico-Químicas do Óleo De Abacate Comestível com o Azeite De Oliva Extra Virgem**. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIAS DE ALIMENTOS, 2, 2015.
- FERRARI, R. A. **Caracterização físico-química do óleo de abacate extraído por centrifugação e dos subprodutos do processamento**. *Braz. J. Food Technol.*, v. 18, n. 1, p. 79-84, 2015.
- GAUTO, M. A.; ROSA, G. R. **Processos e Operações Unitárias da Indústria Química**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2011.
- HILLESHEIN JR, J.; RADE, L. L.; FERREIRA, R.A.R.; LIMA, A. F.; SILVA, P. P.; **Síntese de Biodiesel via Catálise Heterogênea a partir de  $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$  produzido a partir de material residual e laboratorial**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2017, São Carlos. *Anais...* São Carlos, 2017.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.
- KAWASHIMA, A.; MATSUBARA, K.; HONDA, K. **Development of heterogeneous base catalysts for biodiesel production**. *Journal of Bioresources Technology*, v. 99, p. 3439–3443, 2008.
- KNOTHE, G.; RAZON, L.F. **Biodiesel Fuels**. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 58, p. 36-59, 2017.
- RADE, L., L.; ARVELOS, S.; DE SOUZA, M. A; BARROZO, M. A. S.; ROMANIELO, L. L.; WATANABE, E. O; HORI, C. E. **Evaluation of the use of degummed soybean oil and supercritical ethanol for non-catalytic biodiesel production**. *J. Supercrit. Fluids*, v. 105, p. 21-28. 2015.
- RAMOS, L. P.; KOTHE, V.; CÉSAR-OLIVEIRA, M. A. F.; MUNIZ-WYPYCH, A. S.; NAKAGAKI, S.; KRIEGER, N.; WYPYCH, F.; CORDEIRO, C. S. **Biodiesel: Matérias-Primas, Tecnologias de Produção e Propriedades Combustíveis**. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 1, p. 317-369, 2017.
- SOUZA, A. A.; FARIAS, R. F. **Cinética química: teoria e prática**. Campinas: Editora Átomo, 2013.

TANGO, J. S.; TURATTI, J. M. **Abacate:cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. Campinas: ITAL, 1991.

WHILEY, A. W.; SCHAFFER, B.; WOLSTENHOLME, B. N. **The Avocado: Botany, Production, and Uses**. Wallingford: CABI, 2002.

WOLF, M. R.; PERASSI, I. S. T.; ASSIS, N.; PEREIRA, F. A. V. **Avaliação de óleos de soja com diferentes origens na produção do Biodiesel via rota metálica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA, 2017, São Carlos. Anais... São Carlos, 2017.

## ESTUDO DE CASO EM OBRA NA CIDADE DE MACEIÓ: PROPOSTA PARA MELHORIA NO DESTINO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

### **Kelliany Medeiros Costa**

Universidade Federal de Alagoas, Campus do  
Sertão Delmiro Gouveia– Alagoas

### **José Leandro da Silva Duarte**

Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C.  
Simões Maceió– Alagoas

### **Carmem Lúcia de Paiva e Silva Zanta**

Universidade Federal de Alagoas, Campus A. C.  
Simões Maceió– Alagoas

**RESUMO:** As cidades precisam ser ambientes organizados para que a população tenha qualidade de vida com o mínimo de conforto para viver-se bem. Em adição, notou-se que há inúmeros tipos de resíduos que podem ser incorporados junto com outros materiais convencionais e facilmente aplicados em tecnologias sustentáveis para benefício das classes de baixo poder executivo. Em fase inicial da pesquisa exploratória temos em sua metodologia uma revisão da literatura sobre os resíduos sólidos em obra na cidade de Maceió-Al. Com ênfase nos problemas socioambientais dos resíduos sólidos, expor algumas das causas do aparecimento destes problemas e propor maneiras de amenizá-los. Pretende-se orientar em forma de cartilhas, e palestras a importância de manter os resíduos separados, em consequência de reaproveitar os mesmos para agregar a outros materiais, sendo possível

até torna-los em tecnologia dos materiais não convencionais. Assim, surgiram às tecnologias dos materiais não convencionais, no qual possuem vantagens para a sociedade, seja de forma direta ou indireta. É necessário propor métodos que viabilizem uma melhores nas condições de reaproveitamento dos resíduos sólidos. Em síntese a gestão são serviços complexos, refletindo em possíveis falhas por parte de alguns da fiscalização.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos sólidos; Reciclagem; Tecnologia Sustentável.

**ABSTRACT:** Cities need to be organized environments so that the population has quality of life with the minimum of comfort to live well. In addition, it was noted that there are numerous types of waste that can be incorporated together with other conventional materials and easily applied in sustainable technologies for the benefit of the lower executive classes. In the initial phase of the exploratory research we have in its methodology a review of the literature on solid waste in the city of Maceió-Al. With emphasis on the socio-environmental problems of solid wastes, to expose some of the causes of the appearance of these problems and to propose ways of softening them, the It is intended to guide in the form of booklets, and lectures the importance of keeping the waste separated, as a result of reusing them to add to

other materials, and it is possible to make them into technology of non-conventional materials. Thus, technologies of non-conventional materials have emerged, in which they have advantages for society, either directly or indirectly. It is necessary to propose methods that enable a better in the conditions of reutilization of solid waste. In summary management are complex services, reflecting in possible failures on the part of some of the inspection.

**KEYWORDS:** Solid wastes; Recycling; Sustainable Technology.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com o avanço na indústria da construção civil, verificou-se que o setor contribui de forma significativa para o crescimento social e econômico, diante do cenário da economia brasileira. Em análise sobre o assunto, alguns pontos devem ser mencionados, como por exemplo, o acúmulo natural dos resíduos durante o processo da construção de imóvel, ou algo semelhante. Nesses moldes, com o passar dos anos tornou-se perceptível à inquietação por parte de algumas construtoras sobre o destino adequado para o lixo.

Com base no exposto, salienta-se que cerca de 50% da massa dos resíduos são enquadrados como resíduos sólidos urbanos ao comparar com os resíduos de construção e demolição (RCD). Nesse contexto, notou-se à preocupação em amenizar os impactos ambientais, e criar estratégias para extração da matéria-prima, durante o processo de produção dos materiais, como possível planejamento e melhoras dos mesmos (Ângulo, 2005).

Desse modo, é importante ressaltar que existe materiais com resíduos cimentícios que passam por sistemas para serem reaproveitados, e na maioria das vezes os materiais desses resíduos estão na pasta de cimento endurecido do reciclado (RUY,2013).

Contudo, já é possível encontrar na literatura científica, diferentes trabalhos desenvolvidos por pesquisadores que buscam encontrar técnicas de reciclagem de resíduos de construção e demolição(ARAÚJO JÚNIOR,2018).

Para tanto, tem-se como os RCD, divididos em quatro categorias: Classe A (RCD recicláveis como os agregados); B (RCD recicláveis para outras destinações como plásticos, papel/papelão, metais, entre outros); C (RCD sem tecnologia disponível para reciclagem e aproveitamento como o gesso) e D (RCD perigosos como tintas, solventes, óleos, fibrocimentos com amianto, entre outros). Em adição, o sistema de gestão do empreendimento deve seguir os parâmetros do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) da Resolução nº 307 que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos sólidos no setor da construção civil (CONAMA,2012).

A partir das considerações supracitadas, o trabalho em questão pretende

ampliar algumas diretrizes que podem contribuir com a minimização dos problemas relacionados ao método de reciclagem em construtora.

O estudo é realizado em obra de grande porte, onde há grande quantidade de resíduos localizado na cidade de Maceió- Alagoas. Em adição, mencionam-se estratégias para orientar a importância sobre os benefícios em seguir à risca a Normas dos Resíduos Sólidos. Evitando assim, problemas desfavoráveis ao futuro tanto ao meio ambiente quanto a sociedade.

## **2 | METODOLOGIA**

O trabalho em questão busca o estudo do destino dos resíduos sólidos com ênfase para os RCDs na cidade de Maceió-AL. Utilizou-se análise crítica da literatura referente aos resíduos gerados em construtoras no setor da construção civil com revisão bibliográfica. Nesse processo, a pesquisa é classificada como exploratória, encontrando-se no início de suas etapas.

## **3 | OS RESÍDUOS SÓLIDOS NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Os conceitos que definem os resíduos sólidos são vistos por vários autores, mas podemos citar de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na Norma Brasileira NBR 10.004, que classifica os resíduos sólidos como demonstra a seguir.

“Resíduos Sólidos são resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviável em face à melhor tecnologia disponível” (ABNT,2004).

Em análise estatística cerca de 13 a 67% são provenientes dos RCD em massa dos resíduos sólidos urbanos (RSU) tanto no Brasil como no exterior, isso equivale aproximadamente de 2 a 3 vezes a massa de descarte que é destinada como lixo urbano (ÂNGULO,2005). Já os resíduos de construção civil (RCC) representam os gerados em edificações, ampliações e reformas (LIMA,1999). Essa quantidade de RCC no Brasil pode ser observado na gráfico 1 abaixo (CONAMA,2002).

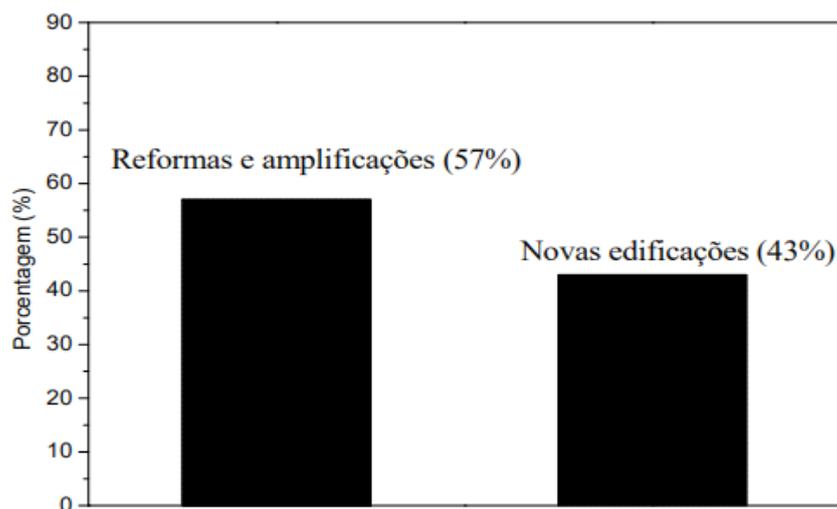


Gráfico 1: Quantificação em massa, da origem dos RCC em algumas cidades do Brasil.

Fonte: John, 2000

Em análise gráfica verifica-se que cerca de 57% da população realiza algum tipo de reforma, modificação ou ampliações no imóvel, sendo uma alternativa até mais barata. E apenas 43% representam as construtoras, e empresários que constroem novas edificações seja para moradia própria ou para venda. Por esse motivo as reformas é considerada uma alternativa para arquitetos e profissionais do setor da construção civil em meio à queda no número de obras novas, causada pela crise que atinge o setor nos últimos anos, e também a pouca área livre em alguns locais urbanos.

Entre 2015 e 2017 os projetos e obras de novas construções tiveram uma queda de 7%, conforme os dados representados pelo Sistema de Inteligência Geográfica (IGEO) do Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil (CAU/BR). No mesmo período, as renovações tiveram um incremento de 20%. Se também forem considerados os trabalhos de arquitetura interior, o crescimento chega a 43%. Em números absolutos, portanto, o total de novas construções é quase cinco vezes mais alto que o de reformas: 503.239 contra 111.974, em 2017.

Com isso, baseada na consequência gerada por reformas e novas construções em estimativa nacional, notou-se que os impactos da produção de resíduos sólidos pelo setor da construção civil chegam aproximadamente em torno de 31 milhões de t/ano. Nesse quesito, o Brasil encontra-se em menor patamar que outros países, tais como Japão, Estados Unidos, Itália e Alemanha (IPEA, 2012).

Nesse íterim, a construção civil é um setor que causa impactos ambientais, por falta de planejamento adequado dos recursos naturais no processo da extração. Além disso, tem-se um crescente uso na fase de produção dos materiais de construção como, por exemplo, consumo de energia, emissão de gás poluente, ruídos emitidos através de equipamentos, dentre outros (SATTLER, 2006).

Dessa forma, observa-se que grande parte dos materiais deveria ter como destino a reciclagem e o reaproveitamento. Sendo assim, necessário um destino adequado de descarte na coleta até o descarte final. Mas não é o que vem acontecendo em Alagoas,

onde o desrespeito ao meio ambiente prevalece e aumenta as montanhas de resíduos (BEZERRA, 2013).

Assim, os resíduos sólidos trazem consequências nítidas com o desenvolvimento do país, como o aumento do poder aquisitivo na sociedade o consumo de lixo cresce. Desse modo, considera-se lixo tudo que não seja reaproveitado (LOPES, 2006).

O Gráfico 2 demonstra percentualmente os materiais que mais geram resíduos sólidos do setor da construção civil. É possível observar que 59% são relacionados a reforma, ampliações e demolições, ou seja, são imóveis modificados.

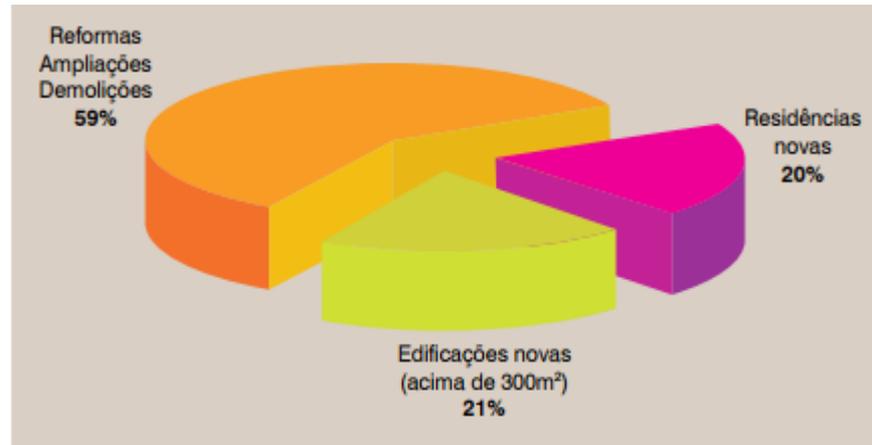


Gráfico 2 – Principais fontes de resíduos da construção civil

Fonte: I&T Informações e Técnicas, 2009

A definição de impacto ambiental remete a variação de um parâmetro no ambiente, em função da ação humana. Tratando-se como princípio ambiental que relacionam projetos de adaptação na fase execução, ou ausência do mesmo. A Figura 1 relaciona etapas de construção em relação a etapas com projeto e sem projeto, interferido diretamente nos impactos (SIMONETTI, 2010).

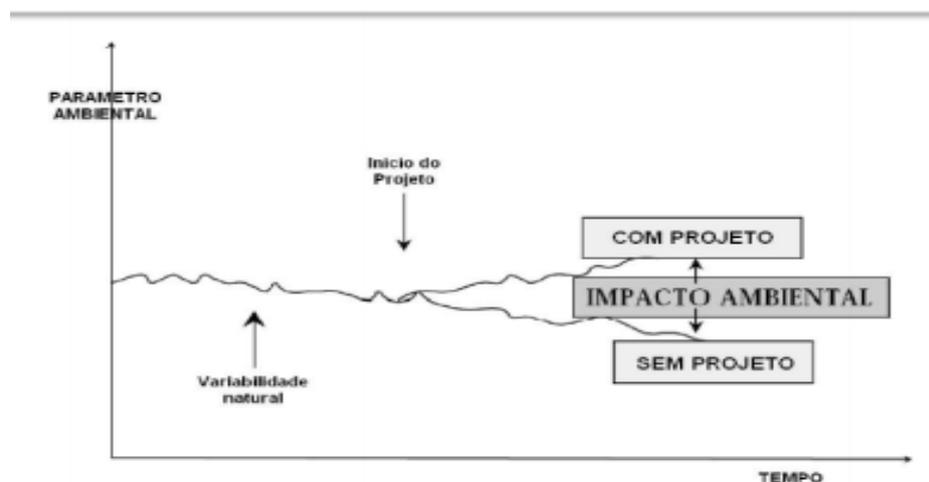


Figura 1 - Impacto Ambiental

Fonte: SIMONETTI, 2010

Por essa razão, buscam-se edificações sustentáveis aliados ao reaproveitamento

de resíduos. Com isso, estudos sobre o assunto estão sendo discutidos para buscar amenizar o uso dos recursos naturais, podendo agregar resíduos aos materiais convencionais, o que pode inferir em uma possibilidade viável ambientalmente e economicamente. O barateamento de produtos convencionais agregados a resíduos, traz uma perspectiva social positiva, visto que, pode ocasionar em obras menos onerosas.

#### **4 | POSSÍVEL SOLUÇÃO PARA O DESTINO ADEQUADO DOS RESÍDUOS BASEADO EM OBRA NA CIDADE DE MACEIÓ-AL**

Os resíduos sólidos no setor da construção civil precisam ser tratados de maneira adequada. Logo, sejam eles classificados como resíduos de reformas, ou até mesmo os gerados no início da construção, nota-se que existem empresas preocupadas em criar formas de reduzir e reaproveitar tal material para não serem descartados em lixões impróprios(CABRAL;MOREIRA,2011).

Com isso, estudos sobre o assunto estão sendo discutidos para buscar amenizar o uso dos recursos naturais, agregando aos materiais convencionais com intuito em reaproveitar e aliar ao uso dos materiais não convencionais (CANELLAS, 2005).

Portanto, atentou-se para pesquisa exploratória e constatou-se que cerca de 30% seguem a risca as providências cabíveis de acordo com as Normas dos Resíduos Sólidos. Assim, a fiscalização vem exercendo falhas no seu processo de fiscalização em boa parte da cidade de Maceió. Desse modo, em uma das obras responsáveis por um prédio de 13 pavimentos têm-se baias próprias e separação dos resíduos, planilhas que separam os materiais e aproximadamente seus respectivos pesos.

Assim, é importante ressaltar que a divisão e o local adequado para comportar cada material, facilitando o trabalho de possíveis catadores, funcionam de acordo com a necessidade em cada obra. Em adição, os mesmos são separados para facilitar o trabalho de empresas que compram os resíduos conforme demonstra Figura 2 a seguir.



Figura 2 – Separação dos resíduos sólidos em locais específicos

Á título de ilustração, a presente obra mencionada anteriormente, além da disposição de baias, também existe caçambas estacionárias que são localizadas na parte externa da obra com capacidade de 4,7 m<sup>3</sup> a 5,6 m<sup>3</sup> conforme Normas. A Figura 3 mostra também o dispositivo de coleta sinalizada por adesivos separando papel, metal, vidro e lixo comum (lixo orgânico) que são dispostos no primeiro pavimento próximo ao escritório da obra.

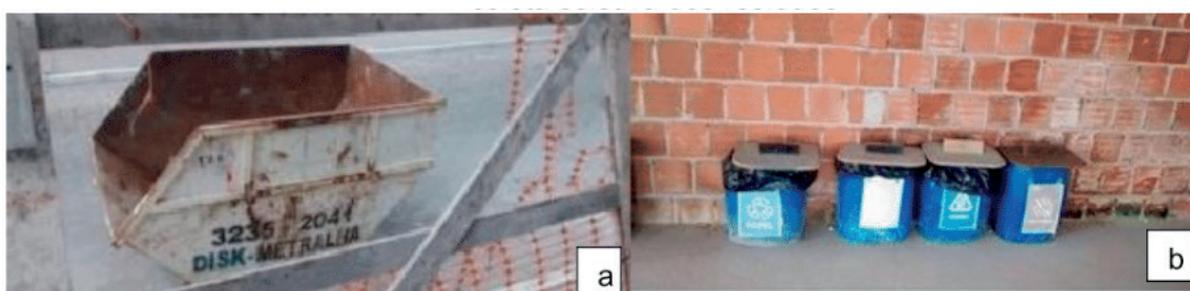


Figura 3 – Destino dos resíduos sólidos a) Caçambas estacionária b) Bombonas para coleta seletiva dos resíduos

Existem maneiras de reciclar, por exemplo, reciclagem de resíduos plásticos, papel, metal, vidro, resíduos da construção civil, dentre outros. A reciclagem do papel é ambiental e economicamente viável e reduzir o corte de hectare em floresta e diminuir a utilização de processos químicos que poluem o meio ambiente (ROSA,2005).

Nesse panorama os plásticos reciclados passam por processos químicos, que são utilizados na produção de novos plásticos de excelente qualidade, combustíveis ou ainda produtos químicos básicos. Podem também, quando incinerados, serem utilizados como geradores de calor ou eletricidade, mas ao poluir o ambiente não se

torna uma alternativa adequada( LETRAS,2008).

No caso do vidro, ele sozinho não pode ser transformado em novos vidros, porém estudos mostram que pode compor até 90% na sua fabricação sem perder a qualidade. Ressalta-se ainda a importância da reciclagem do metal, a cada tonelada de alumínio reciclada, economiza-se à extração de cinco toneladas de bauxite (CRUZ,2002).

O resíduo produzido gera preocupações nos ambientalistas. Por exemplo, o setor da construção civil, com destaque em todo País, possui grande volume de RCD. São entulhos, restos de madeira, de tubos de PVC, latas de tinta e sacos de cimento que precisam de um destino adequado para não prejudicar o desenvolvimento da cidade em relação ao meio ambiente (BEZERRA, 2013).

Em adição, temos no parágrafo 3º, do Artigo 8º do Código de Limpeza Urbana de Maceió que apresenta categorias a respeito dos resíduos sólidos especiais. Desse modo, temos casos de composição qualificativa, o tipo de lixo pode requerer cuidados especiais em suas fases, como: lixo hospitalar, lixo industrial, materiais químicos, explosivos e corrosivos, acondicionamento, coleta, transporte e destinação final.

Desse modo, com ênfase em normas dos resíduos sólidos na construção civil e segundo a Lei Federal 12.305 de 2010, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, ressalta os princípios, objetivos e instrumentos, assim como diretrizes respectivas à gestão ligada ao gerenciamento de resíduos sólidos. Ademias, é necessário uma modificação na educação da sociedade mediante aos resíduos sólidos, junto com o poder público, principalmente em empreendimentos que produzem grande volume de entulhos.

Com base nos métodos de reciclagem em construtora de Maceió, menciona-se que um planejamento pode ser criando dentro da construtora para seguir o padrão solicitado pela Norma dos Resíduos Sólidos. Por motivos mencionados anteriormente temos que refletir sobre o Gerenciamento dos resíduos sólidos.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos argumentos abordados neste trabalho, os resíduos sólidos geram acúmulo, e necessitam ser tratados de maneira devida, caso contrário podem trazer consequências preocupantes ao meio ambiente (SANTOS et al,2002).

Com base no exposto, cada obra possui uma maneira diferente de gerenciar os resíduos, porém uma planilha com indicadores de resíduos por trabalhadores são realizada nessa conceituada construtora localizada na cidade de Maceió- Al. Baseado em cálculos de resíduos por m<sup>2</sup> construído tornando-se um diferencial das demais empresas analisadas.

Em raciocínio semelhante, cada canteiro de obra que relacionam os RCDs tem a responsabilidade em propor metas para tentar amenizar a ação direta dos geradores até o destino final. Baseando-se em formulários que são essenciais para manter um

controle que informam a qualidade de resíduos transportados evitando problemas futuros (CARNAÚBA; ARAÚJO,2010)

Desse modo, com as normas dos RCD e segundo a Lei Federal 12.305 de 2010, que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, ressalta os princípios, objetivos e instrumentos, assim como diretrizes respectivas à gestão ligada ao gerenciamento de resíduos sólidos. Ademias, a modificação na educação da sociedade mediante aos resíduos sólidos, junto com o poder público, principalmente em empreendimentos que produzem grande volume de entulhos, gera problemas futuros.

Em adição, podemos citar a lei 12.503/2010, que define o Plano de Gerenciamento de PGRS composto por documento que identifica o diagnóstico do local de estudo, com objetivo geral em propor metas na maneira de gerenciar os resíduos do início até o destino final do mesmo.

A luz dessas considerações, possíveis soluções como palestras com funcionários e cartilhas informativas é uma proposta do presente trabalho para mostrar aos trabalhadores e empresas a importância que ao gerar os resíduos devemos ter consciência em depositá-los em locais específicos selecionados por materiais.

Com base no conhecimento adquirido por este estudo, uma empresa pode estabelecer metas e objetivos, enfatizando a redução dos impactos gerados por suas atividades. Para tanto, sugere-se o controle do desperdício de materiais na fase de execução dos serviços.

Pode-se mencionar também à implantação de coleta seletiva nos municípios, observando o reaproveitamento dos resíduos de construção. Aproveitando o uso de novas tecnologias que visam o reuso desses materiais e incluindo a população de baixa renda nesse processo, incluindo ao trabalho uma abordagem socioambiental.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação. 2a ed. São Paulo.

Angulo, S. C. Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos. 2005. (Tese Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

Araújo Júnior, A. G. A química aplicada ao desenvolvimento sustentável da construção civil. 1. ed. Antonella Carvalho de Oliveira, 2018. 100p

Cabral, A. E.B; Moreira, K.M. V.. Manual sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil. Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará. Fortaleza, 2011.

Canellas, S. S.. Reciclagem de PET, visando à substituição de agregado miúdo em argamassa. Rio de Janeiro, 2005. 78f. Dissertação de Mestrado Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Carnaúba, T. M. G. V.; Araujo, N. M. C. Gerenciamento de RCDs: Uma proposta para as obras de edificação vertical em Maceió 2010. Anais do 3o Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos;

2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólidos.

Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n o 307, de 05 de julho de 2002:Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

Cruz, A. L.M.. A reciclagem dos resíduos sólidos urbanos: Um estudo de caso. 2002. 157 f.Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina,UFSC, 2002.

IPEA. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Diagnóstico dos resíduos sólidos da construção civil. Brasília, 2012.

José Antonio Ribeiro de Lima. Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassa e concretos. 1999. Dissertação (Mestrado). São Carlos.

John,V. M. Reciclagem de resíduos na construção civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102p. Tese (Livre Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

Letras, C. M. Reciclagem de Plásticos: Identificação de contaminantes e estratégias de valorização dos resíduos industriais. 2008. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia Sanitária) – Universidade Nova de Lisboa, UNL, Lisboa, 2008.

Lopes, L.. Gestão e Gerenciamento Integrados dos Resíduos Sólidos Urbanos. 2006. 113f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, USP, 2006.

Resolução CONAMA n° 307/2002. Classificação dos Resíduos. Ministério do Meio Ambiente. Brasil.

Rosa, B.N.; Moraes, G.G.; Maroço, M.; Castro, R.. A importância da reciclagem do papel na melhoria da qualidade do meio ambiente. Anais do XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Porto Alegre. 2005.

Ruy. Y.; Z. Shui, Influence of agglomeration of a recycled cement additive on the hydration and microstructure development of cement based materials. Construction and Building Materials. v.49, (2013), p.841.

Santos, M. E. Ramos, R. E. B.; Pinheiro, J. I.. Resíduos sólidos urbanos: uma abordagem teórica da relevância, caracterização e impactos na cidade do Natal / RN. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2002, Curitiba. Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. 2002. V. 1°. Estado Brasileiro. Revista da Associação de Pós Graduação da PUC/SP,São Paulo, v. 1, n°11, p. 96-108, 1997.

Sattler, M. A. Edificações e comunidades sustentáveis: atividades em desenvolvimento no NORIE/ UFRGS. In: IV seminário ibero-americano da rede cyted XIV.C. Rio Grande do Sul, 2006.

SIMONETTI, H. **Estudo de Impactos Ambientais Gerados pelas Rodovias: Sistematização do Processo de Elaboração do EIA/RIMA**. Dissertação (Graduação) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. 2010.

**TECHNÉ**. Desempenho Revisado. São Paulo. Edição 192, Março 2013. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/192/artigo288027-1.aspx>>. Acesso em: Abril 2015. (ARTIGO DE PERIÓDICO EM MEIO ELETRÔNICO SEM AUTORIA).

## COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS DE VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO APLICADOS EM EMULSÕES A/O MONODIPERSAS

### Lucas Henrique Pagoto Deoclecio

Instituto Federal do Espírito Santo, Coordenadoria do Curso Técnico em Mecânica, *Campus* São Mateus, Espírito Santo

### Ana Paula Meneguelo

Universidade Federal do Espírito Santo - CEUNES, Departamento de Engenharias e Tecnologias, *Campus* São Mateus, Espírito Santo

### Daniel Cunha Ribeiro

Universidade Federal do Espírito Santo - CEUNES, Departamento de Engenharias e Tecnologias, *Campus* São Mateus, Espírito Santo

**RESUMO:** O dimensionamento de separadores de emulsões formadas durante a exploração e produção de petróleo é importante tanto devido ao custo desses equipamentos quanto as restrições dimensionais exigidas no ambiente de exploração e produção offshore. Definir a velocidade de sedimentação das gotas, que influencia diretamente no tempo de residência necessário para a separação, em uma mistura concentrada é uma tarefa complexa. Três modelos de sedimentação foram comparados no presente trabalho, dois baseados em fatores de correção da Lei de Stokes experimentais e numérico baseado no modelo de Schiller e Naumann e no modelo Euleriano de n-fluidos. Os resultados mostraram que, para as condições analisadas, o modelo de Richardson e Zaki (1954) foi inadequado, pelo menos com

os coeficientes padrões recomendados. Os modelos de Rusche e Issa (2000) e o de Schiller e Naumann apresentaram perfis de velocidades semelhantes. Os resultados indicam que a verificação apenas visual da interface entre a fase contínua/mistura pode não ser adequada e, uma definição e padronização mais precisa desse procedimento se faz necessária. Ademais, a distribuição do tamanho médio das gotas pode ser uma informação mais relevante do que o diâmetro médio das gotas na modelagem da separação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Taxa de Sedimentação, CFD, Emulsões, Arrasto.

**ABSTRACT:** Oil industry emulsion separators sizing is important both because their cost and space constraints required in the offshore exploration. Defining the droplets sedimentation rate, which directly influences the residence time required for separation, in a concentrated mixture is a complex task. In the present work, three sedimentation models based on a correction factor applied to the Stokes Law were compared. The first two models are the analytical models of Richardson and Zaki (1954) and Rusche and Issa (2000), which their coefficients were determined experimentally. The third model is the Schiller and Naumann drag model applied together with the numerical Eulerian n-fluid model. The results showed that,

for the analyzed conditions, the Richardson and Zaki (1954) model was inadequate, at least with the recommended standard coefficients. Rusche and Issa (2000) and Schiller and Naumann models presented similar velocity profiles. The results indicate that the only visual verification of the interface between the continuous / mixing phase may not be adequate and a more precise definition and standardization of this procedure is necessary. In addition, the mean droplet size distribution may be more relevant information than the average droplet diameter in the separation modeling.

**KEYWORDS:** Sedimentation Rate, CFD, Emulsions, Drag.

## 1 | INTRODUÇÃO

Emulsões podem ser definidas como finas dispersões de um líquido em outro líquido geralmente imiscível e que apresentam características multifásicas (SJOBLOM, 2001). Ademais, as emulsões precisam de agentes emulsionantes para inibir a coalescência e, por conseguinte, a separação das fases (SINKO, 2008). Portanto, são misturas termodinamicamente instáveis, mas cineticamente estáveis. Essas misturas são encontradas nas indústrias alimentícia, farmacêutica, cosmética, petrolífera e outras.

A produção de água em conjunto com o óleo dos reservatórios petrolíferos acarreta em vários problemas (ALI; ALQAM, 2000) como: gastos com bombeio e armazenamento de água, corrosão dos equipamentos, contaminação de catalisadores durante o refino, necessidade de aquisição de equipamentos de separação para que o óleo vendido tenha a qualidade contratada e aumento da viscosidade devido a formação de emulsões (THOMPSON; TAYLOR; GRAHAM, 1985; KILPATRICK, 2012). Muitas vezes na indústria petrolífera a palavra emulsão é utilizada para se referir a uma mistura de dois líquidos que não se separam rapidamente (WARREN, 2007). Logo, separar essas misturas é importante antes da produção ser enviada para os dutos e para a refinaria (XIA; LU; CAO, 2003).

A formação de emulsões entre o petróleo cru e a água ocorre devido às forças de cisalhamento impostas ao escoamento durante o processo produtivo (MAIA FILHO et al., 2012). A sua separação se dá em três etapas principais que são: desestabilização, coalescência e sedimentação. Desestabilização é o enfraquecimento e a ruptura do filme de emulsificantes que inibe a coalescência. Essa etapa geralmente é realizada com a adição de produtos químicos e/ou calor. Após a desestabilização, a coalescência pode ocorrer. Essa etapa consiste na junção das gotas da fase dispersa de forma a gerar novas gotas de maior tamanho. A coalescência demanda tempo e das três etapas do tratamento ela é a mais lenta. Por fim, na maioria dos casos, a separação se dá devido a diferença de densidade entre as fases. Quando a fase dispersa é mais leve a última etapa é conhecida como cremagem e quando a fase dispersa é mais pesada ela é conhecida como Sedimentação (KANG ET AL., 2012; KOKAL, 2006; WARREN, 2007; ABDEL-AAL; AGGOUR, 2003).

Via de regra, a separação inicial da produção de petróleo se dá em grandes separadores cilíndricos horizontais, os quais devem permitir que os fluidos permaneçam no seu interior por tempo suficiente para promover a separação e originar fluxos distintos de óleo e água na sua saída (JAWORSKI; MENG, 2009). Assim, quanto maior o separador, maior o seu tempo de residência. Contudo, quanto maior os separadores, maior o seu custo. Além disso, quando se tratando de separadores offshore, os mesmos também apresentam restrições de tamanho devido as limitações de espaço nas plataformas e da pressão no leito marinho (FRISING et al., 2008; LAVENSON, et al., 2016). Outro ponto é que devido as leis ambientais, cada vez mais rigorosas, o processo de separação deve ser tornar cada vez mais eficiente (FRISING et al., 2008).

Até recentemente o tempo de residência era determinado em função da velocidade terminal de uma esfera rígida dada pela Lei de Stokes, Equação 1 (FRISING et al., 2006).

$$V_{ST} = \frac{gd^2(\rho_d - \rho_c)}{18\mu_c} \quad (1)$$

A lei de Stokes é aplicada para escoamentos com número de Reynolds menores do que 1, nos quais as forças de inércia podem ser desprezadas. Fica evidente por meio da Equação 1 que a velocidade terminal aumenta com quadrado do diâmetro das gotas. Logo, após a coalescência, as gotas sedimentarão mais rápido. Outro fator importante também é a viscosidade da fase continua. Quanto menor for essa viscosidade, mais rápida a sedimentação e maiores as chances de colisão e coalescência das gotas, acelerando assim o processo de separação. Em geral, a viscosidade da fase continua é controlada pela sua temperatura (FRISING et al., 2008; SOUZA et al., 2015).

Hadamard (1911) e Rybczynski (1911) (apud SOUZA et al., 2015; FRISING et al., 2008) propuseram um fator de correção à velocidade de sedimentação de Stokes quando a fase dispersa é fluida. Na ausência de surfactantes, a recirculação induzida pelas forças viscosas no interior das gotas diminuirá a força de arrasto. O modelo Hadamard-Rybczynski é dado pela Equação 2.

$$V_{HR} = \frac{gd^2(\rho_d - \rho_c)}{18\mu_c} \times \frac{\mu_c + \mu_d}{\mu_c \frac{2}{3} + \mu_d} \quad (2)$$

O cálculo da taxa de sedimentação, ou da velocidade terminal das partículas, em uma mistura real é complexo, pois, vários fatores extras aos considerados na equação de Stokes influenciam no processo de separação. Um dos principais fatores é a concentração da mistura, uma vez que uma partícula pode interferir e dificultar a sedimentação das outras. Outro ponto importante é que o movimento de sedimentação

desloca a fase contínua na direção oposta e faz com que a velocidade relativa entre as fases seja maior que a velocidade terminal prevista por Stokes, mudando assim a força de arrasto (MCCABE, SMITH E HARRIOTT, 2005). Além disso, uma mudança na força de empuxo deve ser levada em conta devido aos efeitos da densidade da mistura (RUSCHE; ISSA, 2000).

Dessa forma, vários autores e pesquisadores formularam equações analíticas e experimentais visando prever a velocidade de sedimentação da fase dispersa. A maioria desses modelos tenta aplicar um fator de correção a velocidade terminal de Stokes ou ao seu coeficiente de arrasto (RUSCHE; ISSA, 2000). Contudo, a aplicação desses modelos também apresenta limitações.

No presente trabalho é apresentado uma introdução aos modelos de sedimentação propostos por Richardson e Zaki (1954), e de Rusche e Issa (2000). Em seguida, uma comparação entre os dois modelos experimentais e um modelo numérico baseado na força de arrasto de Schiller Naumann e no modelo multifásico de dois fluidos para a sedimentação de partículas líquidas foi realizado. O modelo numérico atual não considera efeitos como a floculação, aglomeração e deformação das gotas que podem ocorrer em um experimento físico. Dessa forma, a análise efetuada teve o objetivo de verificar os fundamentos da sedimentação em um ambiente controlado e não em um ambiente real encontrado na indústria petrolífera.

## 2 | MODELOS DE SEDIMENTAÇÃO

Visando prever a taxa de sedimentação de sólidos em fluidos, Richardson e Zaki (1954) propuseram um modelo empírico no qual a velocidade terminal da fase dispersa é proporcional a velocidade terminal obtida pela equação de Stokes multiplicada por um fator que depende da concentração da fase dispersa ( $\phi$ ) e de um fator ( $n$ ) dependente do Número de Reynolds, conforme a Equação 3 e Tabela 1 (SEADER, HENLEY E ROPER, 2010):

$$V_{RZ} = V_{ST}(1 - \phi)^n \quad (3)$$

<i>Re</i>	<i>n</i>
< 0,5	4,65
0,5 ≤ <i>Re</i> ≤ 1300	4,374 x <i>Re</i> – 0,0875
<i>Re</i> ≥ 1300	2,33

Tabela 1 – Coeficiente *n* de Zaki e Richardson em função do Número de Reynolds.

Fonte: Seader, Henley e Roper, 2010.

Quando aplicada em emulsões, uma mistura de dois líquidos, a equação acima não representa de maneira adequada o que ocorre prática, pois, as gotas devem permanecer esféricas, os fenômenos interfaciais devido a adsorção de surfactantes

não são levados em conta, as gotas de líquidos nunca compõem uma mistura perfeitamente monodispersa e floculação e aglomeração entre as gotas podem ocorrer. Os mecanismos de sedimentação das gotas de uma fase dispersa não são universais, pois os mesmos dependem das características físico-químicas das gotas (FRISING et al., 2008; SOUZA et al., 2015).

Em seu trabalho, Hartland e Jeelani (1988) assumiram que não haveria coalescência na zona de sedimentação, uma vez que o diâmetro das gotas era relativamente grande, o que ocasionou uma velocidade de sedimentação muito mais rápida do que a velocidade de coalescência. Nessa condição, segundo os autores, o perfil de velocidade da interface entre a fase contínua/mistura é constante até que a sedimentação acabe e a mistura seja formada apenas pela zona compactada. Nesse caso, a fração volumétrica na zona de sedimentação é constante e igual a fração volumétrica inicial da emulsão em uma separação em batelada. A velocidade com que a interface da fase contínua limpa se movimenta é igual a velocidade de sedimentação das gotas, e a velocidade relativa entre as gotas e a fase contínua é igual a . A frente de sedimentação é claramente visível quando o tamanho das gotas tende a uma distribuição monodispersa ou quando a concentração da fase dispersa ultrapassa um certo valor que depende da mistura em questão (NADIV; SEMIAT, 1995). Um exemplo são resultados encontrados por Abeynaike e outros (2012) para a separação de biodiesel e glicerina e apresentados nas Figuras 1 e 2. Na Figura 1 é possível observar que para 50% de glicerol como fase dispersa a interface diesel/mistura é claramente visível, enquanto que para 20% de glicerol, há um gradiente de concentração e a interface não é claramente visível. Além da concentração, o aparecimento desse gradiente também depende da distribuição do tamanho de gotas, que pode ser observado na Figura 2.

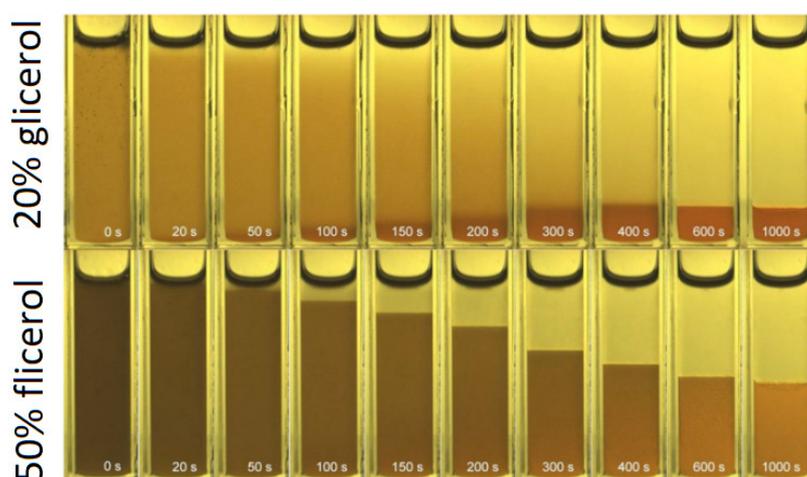


Figura 1 – Vídeo imagens da separação de glicerol e biodiesel para as concentrações de 20% e 50% em função do tempo.

Fonte: Abeynaike e outros (2012).

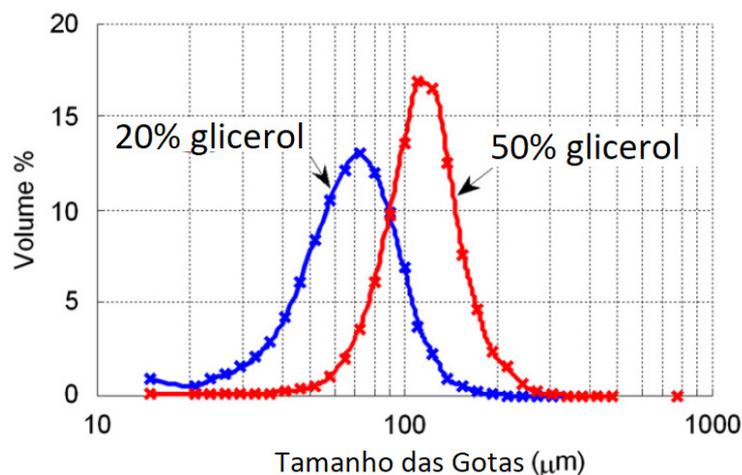


Figura 2 – Distribuição do tamanho de gotas de glicerol obtidas por Abeynaike e outros (2012).

Frising e outros (2008) utilizaram em seu estudo experimental uma alta concentração de surfactante suficiente para inibir a coalescência entre as gotas de água e a fase oleosa continua com o objetivo de avaliar a influência da sedimentação e da coalescência separadamente. Os autores observaram que na sedimentação (sem coalescência) apenas a velocidade de sedimentação era aproximadamente constante. Além disso, mostraram que para diferentes concentrações de água ela pode ser modelada com a correlação de Richardson e Zaki, contudo, um fator exponencial () igual a 6 precisou ser empregado.

Souza e outros (2015) também modelaram seus resultados experimentais de sedimentação de forma satisfatória com a correlação de Richardson e Zaki. Entretanto, com fatores diferentes e fora dos limites estabelecidos pela correlação e sem utilizar a velocidade terminal de sedimentação da Lei de Stokes como base. Embora a velocidade de sedimentação dificilmente seja prevista com precisão por esse modelo, o comportamento do perfil constante de velocidade de sedimentação encontrado pelos autores seguiu o modelo clássico. Os autores apresentaram diâmetros médios das gotas no início e no final dos experimentos. Os resultados mostraram que houve uma diminuição do diâmetro médio devido à mistura ser polidispersa e as gotas maiores sedimentarem mais rápido. Além disso, imagens microscópicas das emulsões revelaram que muitas gotas se deformaram devido aos efeitos dos surfactantes, floculação e aglomeração. A zona de sedimentação foi considerada como a zona linear na curva da posição da interface pelo tempo.

Assim, segundo Panjwani e outros (2015), o modelo de Richardson e Zaki (1954), que é amplamente utilizado, não é capaz de prever a velocidade de sedimentação de emulsões com os coeficientes padrões. Uma possível razão para isso é que o modelo de Richardson e Zaki foi inicialmente proposto para a sedimentação de sólidos. Dessa forma, os autores utilizaram um modelo alternativo, o de Rusche e Issa (2000). Rusche e Issa aplicam em seu modelo um fator de correção,  $\lambda$ , ao coeficiente de arrasto de sedimentação de uma única esfera,  $\lambda$ , que resulta na velocidade terminal de Stokes.

Embora esse fator de correção também deva ser função do número de Arquimedes e do número Reynolds, por simplicidade, os autores o determinaram inicialmente apenas em função da fração volumétrica da fase dispersa. As funções obtidas para a elaboração do modelo e as suas constantes foram baseadas no ajuste de dados experimentais, conforme a Equação 4:

$$f = \exp(K_1 \Phi) + \Phi^{K_2} \quad (4)$$

Para a separação de dois líquidos,  $K_1$  é igual a 2,10 e  $K_2$  é igual 0,249.

### 3 | ABORDAGEM NUMÉRICA

As simulações foram realizadas no software Fluent utilizando o modelo multifásico Euleriano Implícito com o modelo de arrasto de Schiller e Naumann. A condição inicial para as simulações foi estabelecida como uma mistura uniforme monodispersa com velocidade igual a zero em todas as regiões. A geometria empregada foi a de um separador em 2D feita em CAD de 150mm de altura por 30mm de largura. Após o teste de malha, a malha emprega, após verificação do teste de malha, continha 1216 nós. As dimensões da geometria foram baseadas em experimentos na literatura (colocar um autor).

### 4 | DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Para comparar os modelos as seguintes propriedades das fases foram determinadas, conforme exposto na Tabela 2:

Variáveis	Fase Contínua	Fase Dispersa
Fluido	Diesel	Água
Massa Específica	730 kg/m <sup>3</sup>	998,2 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidade	0,0024 Pa.s	0,001 Pa.s
Diâmetro	-	50 e 20 µm

Tabela 2 – Propriedades das fases.

As frações volumétricas da fase dispersa comparadas foram de 5%, 10%, 20%, 30% e 40%.

A velocidade da interface entre a fase contínua limpa, no caso o óleo, e a mistura é obtida experimentalmente por meio de medições de sua posição em intervalos de tempo definidos. Se a mistura tende a ser polidispersa, essa interface tende a ser menos distinguível a olho nu, pois um gradiente de concentração é formado. A falta de uma definição do que seria a interface faz com que a análise de sua posição seja, na

maioria dos casos, feita apenas visualmente. Dessa maneira, para efetuar a análise do modelo numérico, foram definidas duas posições de interface, a primeira com fração volumétrica da fase contínua igual a 96% e a segunda igual a 99%.

## 5 | RESULTADOS

Para as condições estabelecidas a velocidade terminal de uma gota dada pela Equação 1 é apresentada na Tabela 3:

Modelo	Velocidade [mm/s]	
	50µm	20µm
$V_S$	0,152	0,024
$V_{HR}$	0,224	0,036

Tabela 3 – Velocidades terminas de uma única gota esférica e

Devido as interferências das gotículas umas nas outras e o fluxo ascendente da fase continua sendo deslocada pela fase dispersa, a velocidade de sedimentação dada pela Lei de Stokes sobrestima a velocidade de sedimentação real. Para determinar a velocidade de sedimentação prevista por Richardson e Zaki, , o número de Reynolds deve ser estimado. Para tal, foi utilizado para determinar  $Re_0$  e, conseqüentemente, o valor do fator  $n$  segundo a Tabela 1. Para os diâmetros de 50µm e 20µm, é igual a  $2,3 \times 10^{-3}$  e  $1,46 \times 10^{-4}$ , respectivamente. Logo, ambos os valores de são menores que 0,5 e o valor de igual a 4,65 foi utilizado.

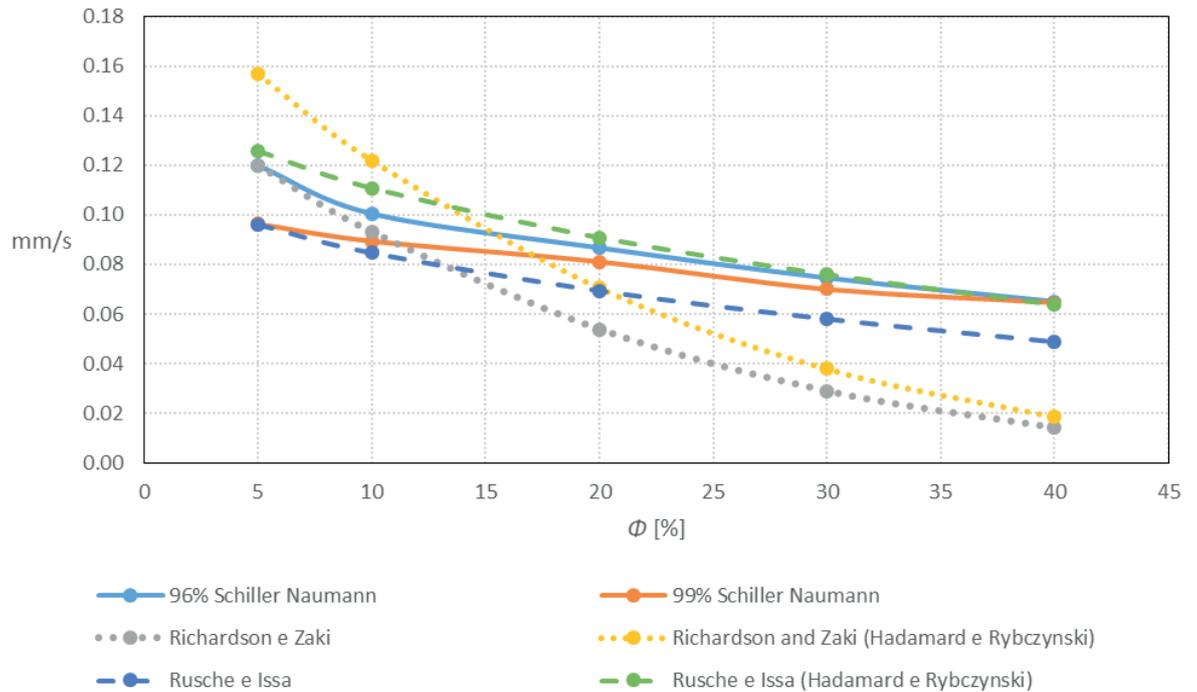
Aplicação do modelo de Rusche e Issa não é tão direta quanto a do modelo de Richardson e Zaki (1954). O fator  $f$  é multiplicado pelo coeficiente de arrasto de uma única esfera, , dado pela Lei de Stokes e igual a  $24/Re_0$ . Logo, o coeficiente de arrasto para as gotículas da dispersão pode ser obtido pela Equação 5.

$$C_D = fC_{D_o} \quad (5)$$

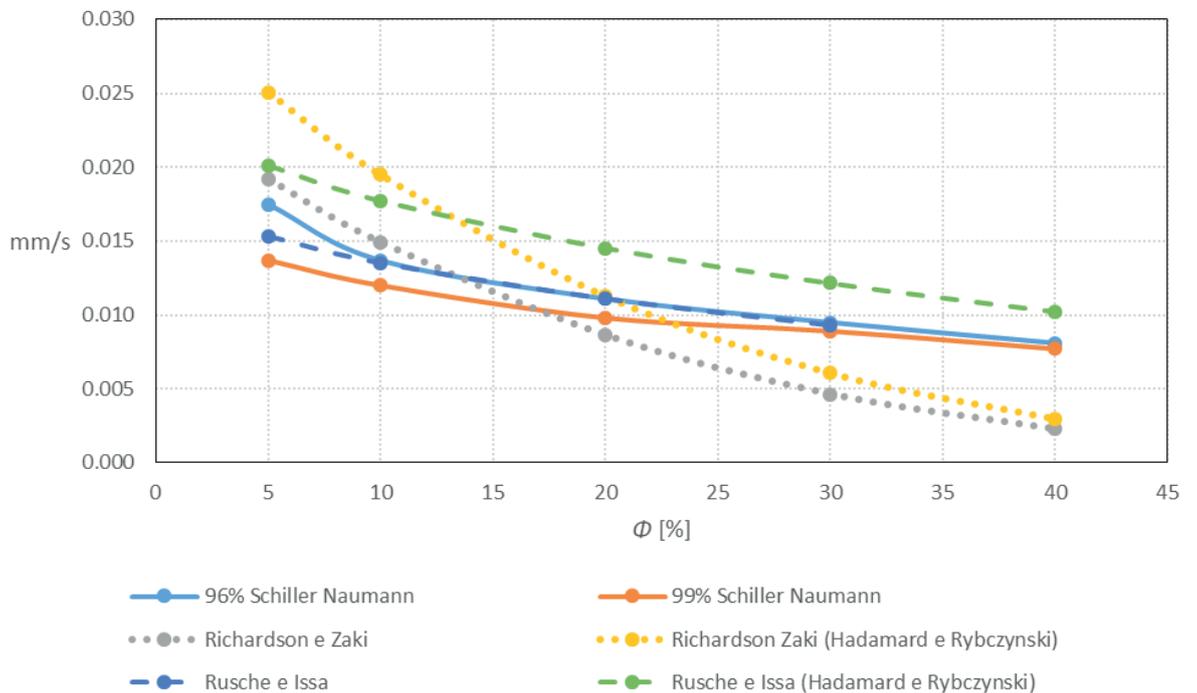
Onde  $f$  é dado pela Equação 4. Dessa forma, a velocidade de sedimentação das gotículas dispersas, , é dada pela Equação 6.

$$V_{RI} = \frac{\mu_c Re_0}{f \rho_c d} \quad (6)$$

Assim,  $V_{RZ}$  Equação 2, e  $V_{RI}$ , Equação 6, estão em função de  $V_S$ ,  $\phi$  e  $d$ . As velocidades de sedimentação, em milímetros por segundo, dos modelos experimentais e do modelo computacional para partículas com diâmetros de 50 e 20 µm são exibidas nas Figuras 3 e 4.



Figuras 3 – Velocidades de Sedimentação para os modelos de Schiller e Naumann, Richardson e Zaki, e Rusche e Issa com diâmetro de 50 µm.



Figuras 4 – Velocidades de Sedimentação para os modelos de Schiller e Naumann, Richardson e Zaki, e Rusche e Issa com diâmetro de 20 µm.

Corroborando com os resultados de Frising e outros (2008), Souza e outros (2015) e a afirmação de Panjwani e outros (2015), o modelo de Richardson e Zaki apresentou velocidades sedimentação da mesma ordem que os modelos de Rusche e Issa e de Schiller Naumann, contudo a variação da velocidade com a variação da

fração volumétrica da fase dispersa não se mostrou não foi semelhante ao obtidos nos outros dois modelos. Essa diferença se acentua com o aumento da fração volumétrica da fase dispersa. Logo, o modelo de Richardson e Zaki pode não ser o mais adequado dos modelos analisados para modelar a separação de emulsões, pelo menos não com os coeficientes padrões recomendados. Uma razão para isso é que o modelo da Equação 3 foi inicialmente proposto para a sedimentação de sólidos e não de líquidos.

Os resultados indicam uma concordância entre o modelo de Rusche e Issa e o modelo numérico de Schiller Naumann para todas as frações volumétricas avaliadas, especialmente para a sedimentação de gotas com diâmetro de 50  $\mu\text{m}$  com a velocidade de Stokes corrigida pela equação de Hadamard e Rybczynski e para as gotas com diâmetros de 20  $\mu\text{m}$  com arrasto baseado na Lei de Stokes. Uma possível razão para as diferenças na aplicação da Lei de Stokes (Equação 1) e o modelo de correção de Hadamard e Rybczynski (Equação 2) é que as gotas maiores estejam mais suscetíveis a circulação interna. O fator de correção de Hadamard e Rybczynski tende a 1 quando a fase dispersa é um sólido e ao infinito quando a fase contínua é um líquido com elevada viscosidade e a fase dispersa é um gás.

O efeito da circulação interna é significativo, resultando em uma diferença na velocidade de sedimentação da ordem de 25% para os casos analisados segundo os modelos experimentais. Isso que pode ser observado comparando as velocidades com e sem aplicação do fator de correção de Hadamard e Rybczynski (Figuras 1 e 2).

A definição da interface entre a fase contínua/mistura também se mostrou ser importante. Como pode ser visto nas Figuras 3 e 4, quanto menor a fração volumétrica, mais distantes são os valores das velocidades das interfaces de 96% e 99%. Com a fração inicial de água igual a 5%, a diferença entre as velocidades está na faixa de 20% para ambos os diâmetros. Portanto, experimentos reais, polidispersos, necessitam de um procedimento mais preciso para definir a posição da interface do que apenas a análise visual. Isso se intensifica devido ao fato das gotas maiores sedimentarem mais rapidamente e a velocidade da interface visível, ou parcialmente visível (embaçada) pode na verdade representar a velocidade de sedimentação das gotas menores e não a do tamanho médio das gotas. Logo, analisando a sedimentação, os resultados indicam que o conhecimento da distribuição é mais importante do que o diâmetro médio em uma emulsão real. A diferença das velocidades das interfaces ao longo do tempo está de acordo com dados experimentais de Noik, Palermo e Dalmazzone (2013), como pode ser visto nas Figuras 5 e 6. Na Figura 5, as diferentes linhas representam concentrações de óleo e água diferentes. É possível observar que quanto maior a concentração de óleo, mais lenta é a velocidade da interface.

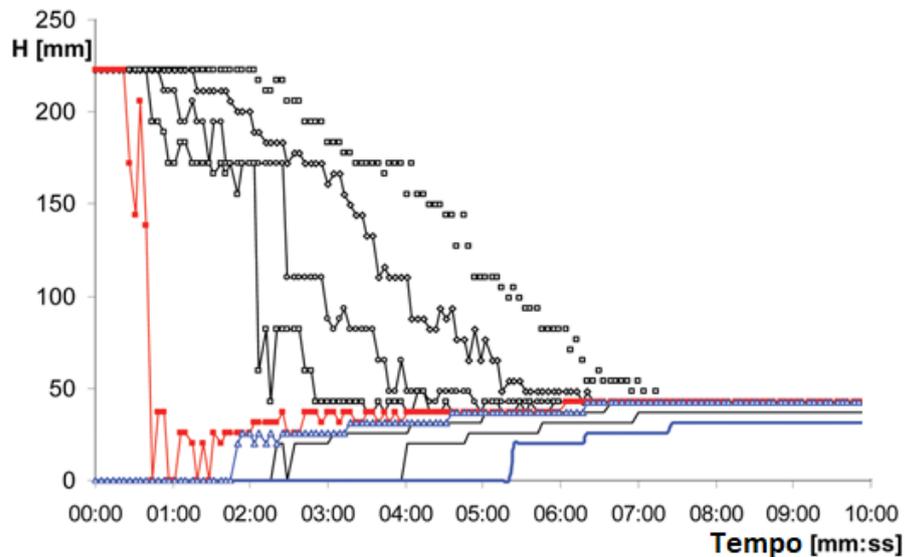


Figura 5- Evolução das interfaces com diferentes concentrações de óleo e água para uma mistura com 30% de água em um experimento realizado por Noik ,Palermo e Dalmazzone (2013).

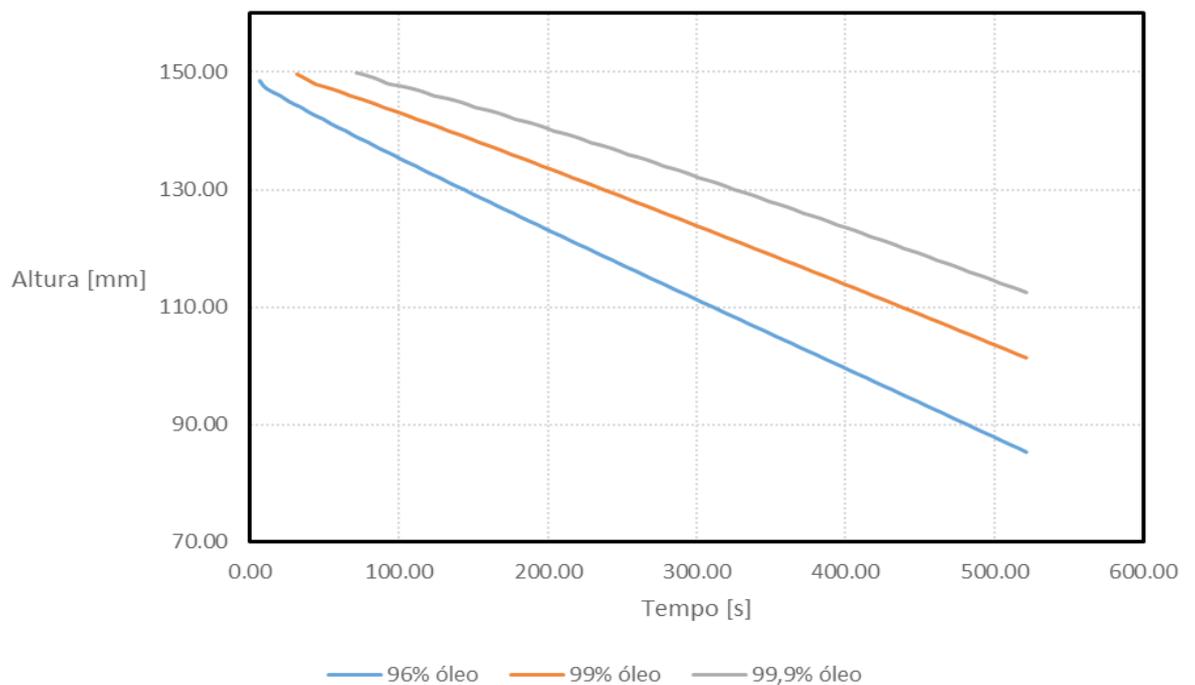


Figura 6- Posição das interfaces de 96%, 99% e 99,9% para a simulação numérica 5% de água e diâmetro de 50 µm.

As Figuras 7 e 8 apresentam as velocidades de sedimentação para os diâmetros de 50 e 20 µm com a adição das interfaces de 99,9% e 85%, respectivamente. Os resultados seguem o mesmo padrão de convergência das velocidades de sedimentação com o aumento de. Um possível causa da variação da velocidade com seja a interação entre as gotas. Quando maior a fração de água, maior a interferência e, conseqüentemente, a restrição dos movimentos, assim, todas as gotas tendem a sedimentar de forma mais uniforme.

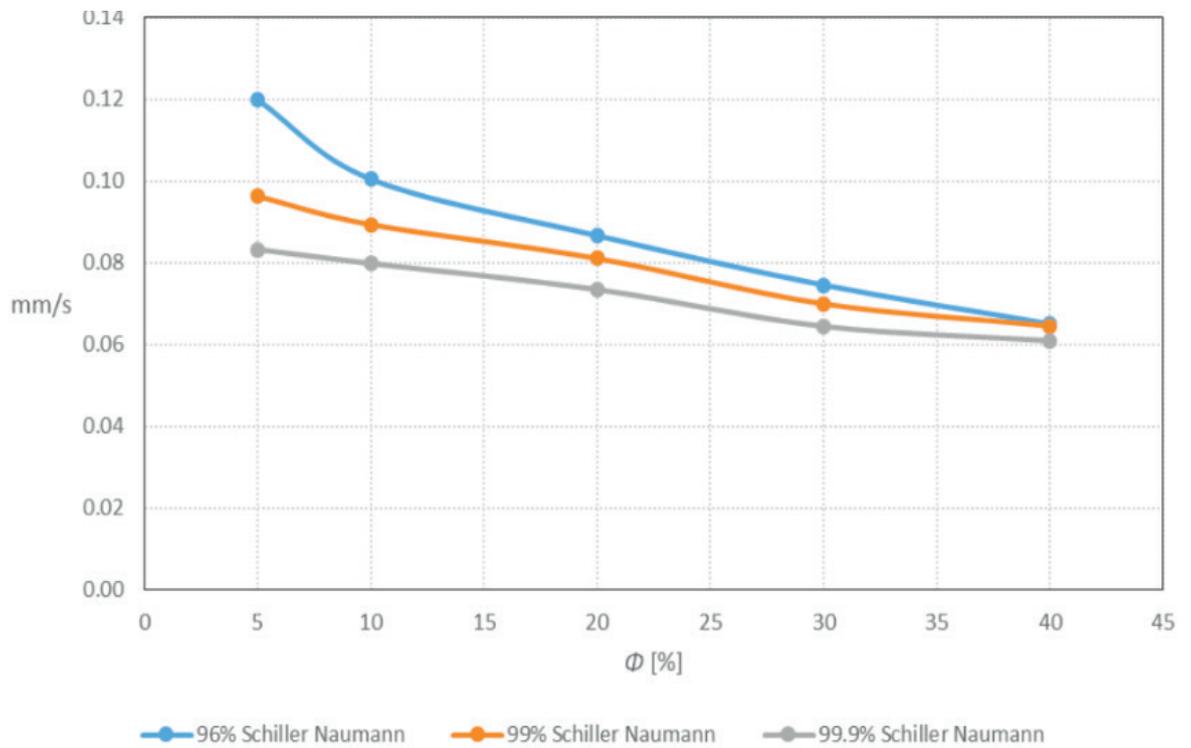


Figura 7 – Velocidades de Sedimentação empregando o modelo de Schiller e Naumann com diâmetro de 50  $\mu\text{m}$  para diferentes interfaces.

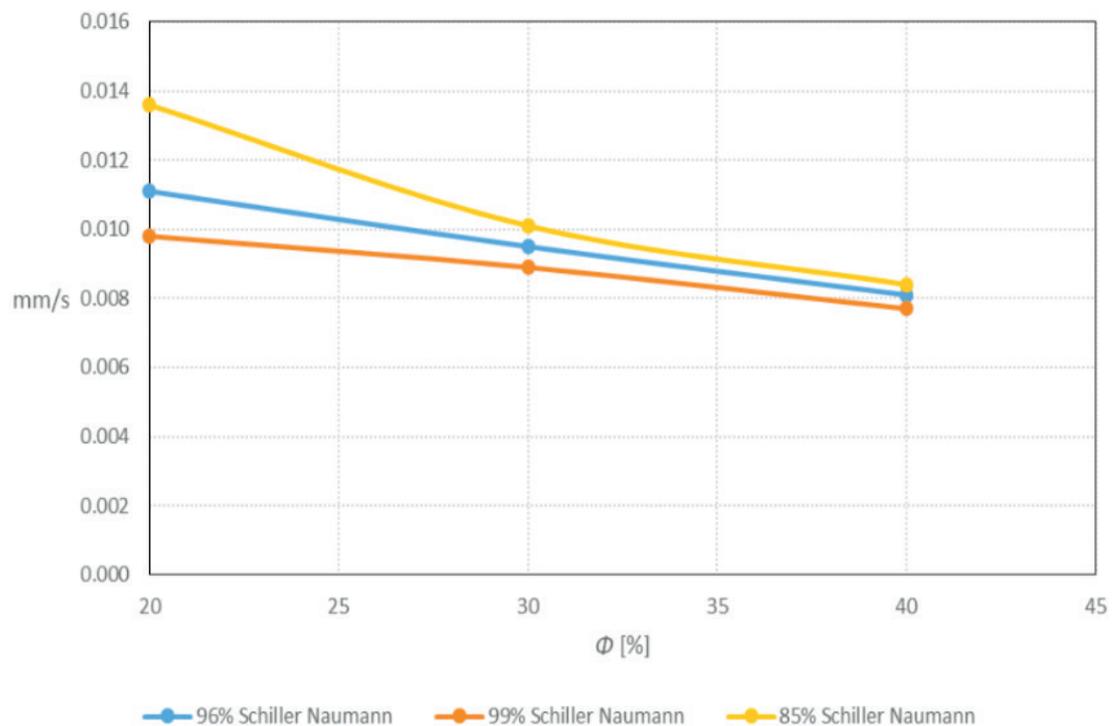


Figura 8 – Velocidades de Sedimentação utilizando o modelo de Schiller e Naumann com diâmetro de 20  $\mu\text{m}$  para diferentes interfaces.

Na Figura 9 é apresentado o gradiente de distribuição da fração volumétrica da fase dispersa para o diâmetro de 50 $\mu\text{m}$  e igual a 5% e 40%. As marcas representam as posições das interfaces de 96% e 99%. É possível observar que o gradiente de concentração é maior na parte superior do separador e uniforme na região central.

Assim, quanto maior o valor de, menor é o gradiente de concentração entre a região intermediária uniforme e a região superior com óleo puro, e concordância com o resultados experimentais obtidos por Abeynaike e outros (2012) na apresentados na Figura 1.

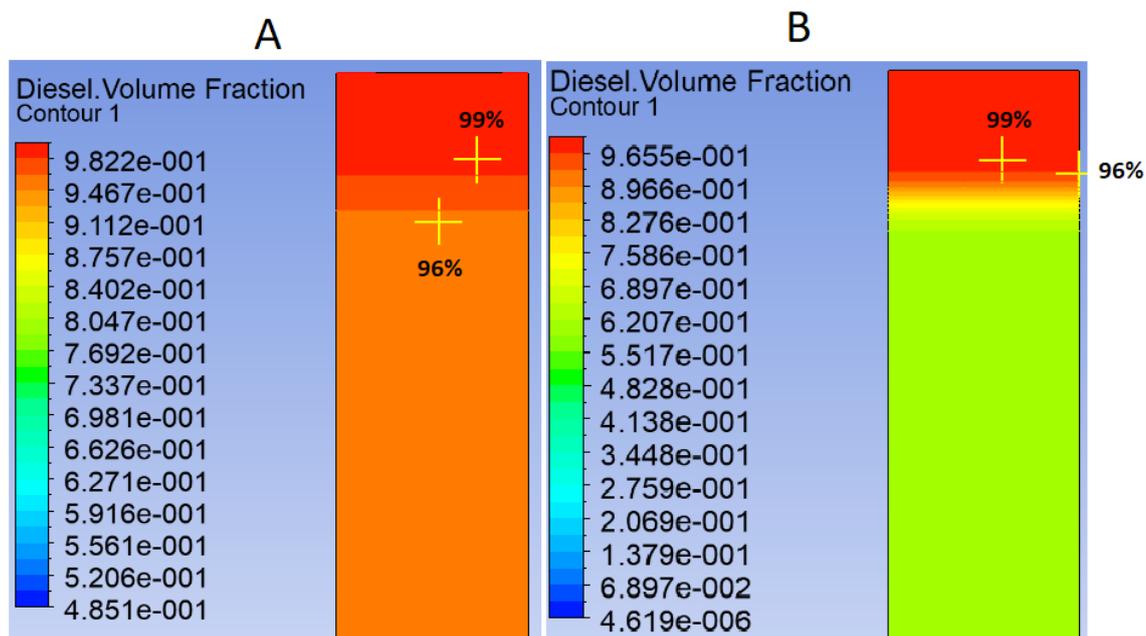


Figura 9 – Variação do gradiente de concentração da fase dispersa com igual a 5% (A) e 40% (B).

Vale também ressaltar que o modelo numérico não leva em conta a aglomeração e a floculação das gotas. Logo, mesmo que não haja coalescência em um experimento de sedimentação real, a floculação e a deformação das gotas, devido a ação de agentes surfactantes, deverão influenciar nos resultados. Isso faz com que o agregado de gotas se comporte como uma gota maior, porosa e irregular, tornando ainda mais complexa a modelagem de sua velocidade de sedimentação.

## 6 | CONCLUSÕES

Prever a velocidade de sedimentação das gotículas em uma emulsão é importante para a avaliação do tempo de residência de separadores de óleo e água utilizados na indústria petrolífera.

Contudo, em uma mistura concentrada efeitos como o fluxo ascendente da fase contínua, a interferência de uma gota na outra e a circulação do interior das mesmas fazem a análise de separação de emulsões complexa.

Muitos trabalhos experimentais publicados na literatura indicam apenas o diâmetro médio das gotas. Porém, com base nos resultados obtidos no presente trabalho e no trabalho de Souza e outros (2015) é possível perceber que o diâmetro médio das gotas pode não ser o mais adequado para a análise da sedimentação, uma vez que uma emulsão real não será perfeitamente monodispersa e que as gotas

maiores sedimentarão mais rápido. Assim, a interface verificada visualmente pode na verdade representar a velocidade das gotas menores e não do tamanho médio das gotas.

É possível observar também uma convergência entre as velocidades de sedimentação com o aumento de  $\Phi$ . Essa convergência provavelmente é causada pelo aumento das interferências das gotas umas nas outras, o que dificulta e uniformiza a sedimentação.

## NOMENCLATURA

- $\Phi$  Fração Volumétrica da Fase Dispersa;
- $\eta_c$  Viscosidade Absoluta da Fase Continua [Pa.s];
- $\eta_d$  Viscosidade Absoluta da Fase Dispersa [Pa.s];
- $r_c$  Massa específica da fase continua [kg/m<sup>3</sup>];
- $r_d$  Massa específica da fase dispersa [kg/m<sup>3</sup>];
- $c_d$  Coeficiente de Arrasto das Gotas em uma Mistura;
- $c_{d0}$  Coeficiente de Arrasto de uma Única Gotas;
- $d$  Diâmetro de uma gota [m];
- $f$  Coeficiente de Correção de Rusche e Issa;
- $g$  Aceleração da Gravidade [m/s<sup>2</sup>];
- $K_1$  Constante do Modelo Rusche e Issa;
- $K_2$  Constante do Modelo Rusche e Issa;
- $n$  Constante do modelo de Richardson e Zaki em Função do Número de Reynolds;
- $Re$  Número de Reynolds da Sedimentação da Dispersão;
- $Re_0$  Número de Reynolds de uma única Esfera Sedimentando;
- $V_{R1}$  Velocidade Terminal de Sedimentação Segundo o Modelo de Hadamard - Rybczynski [m/s];
- $V_{R2}$  Velocidade Terminal de Sedimentação Segundo o Modelo de Rusche e Issa [m/s];
- $V_{R3}$  Velocidade Terminal de Sedimentação Segundo o Modelo de Richardson e Zaki [m/s];
- $V_s$  Velocidade de Sedimentação das Gotas [m/s];
- $V_{s0}$  Velocidade Terminal de Sedimentação Segundo a Lei de Stokes [m/s];

## REFERÊNCIAS

ABDEL—ALL, H. K.; AGGOUR, M.; FAHIM, M. A. **Petroleum and Gas Field Processing**. Marcel Dekker INC, New York, 2003.

- ABEYNAIKE, A. et al. **The experimental measurement and modelling of sedimentation and creaming for glycerol/biodiesel droplet dispersions**, *Chemical Engineering Science*, v. 79, p. 125-137, 2012.
- ALI, M. F.; ALQAM, M. H. **The role of asphaltenes, resins and other solids in the stabilization of water in oil emulsions and its effects on oil production in Saudi oil field**, *Fuel*, v. 79, n. 11, p. 1309-1316, 2000.
- FRISING, T., et al. **The Liquid/Liquid Sedimentation Process: From Droplet Coalescence to Technologically Enhanced Water/Oil Emulsion Gravity Separators: A Review**, *Journal of Dispersion Science and Technology*, v. 27, p. 1035–1057, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01932690600767098>.
- FRISING, T. et al. **Contribution of the sedimentation and coalescence mechanisms to the separation of concentrated water-in-oil emulsions**, *Journal of Dispersion Science and Technology*, v. 29, n. 6, p. 827–834, 2008. ISSN: 0193-2691 (print)/1532-2351 (online), DOI: 10.1080/01932690701781501.
- HARTLAND, S.; JEELANI, S; A. K. **Prediction of sedimentation and coalescence profiles in a decaying batch dispersion**, *Chemical Engineering Science*, v. 43, n. 9, p. 2421-2429, 1988.
- JAWORSKI, A. J.; GUANGTIAN, M. **On-line measurement of separation dynamics in primary gas/oil/water separators: Challenges and technical solutions—A review**, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 69, p. 47-59, 2009.
- KANG, W. et al. **Flocculation, coalescence and migration of dispersed phase droplets and oil-water separation in heavy oil emulsion**, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 81, p. 177-181, 2012.
- KILPATRICK, P. K.. **Water-in-crude oil emulsion stabilization: Review and unanswered questions**. *Energy and Fuels*, v. 26, n. 7, p. 4017–4026, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2012.11.006>.
- KOKAL, S. L. Crude Oil Emulsions, In: FANCHI, J. R. **Petroleum Engineering Handbook: General Engineering**, v. 1, Society of Petroleum Engineers, 2006.
- LAVENSON, D. M. et al. **Gas evolution rates: A critical uncertainty in challenged gas-liquid separations**, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 147, p. 816-828, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2016.10.005>.
- MAIA FILHO, D. C. et al. **Aging of water-in-crude oil emulsions: Effect on rheological parameters**, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 405, p. 73-78, 2012.
- MCCABE; SMITH; HARRIOTT. **Unit Operations of Chemical Engineering**, Ed 7 ed. McGraw-Hill. NU, USA, 2005.
- NADIV, C.; SEMIAT, R. **Batch Settling of Liquid-Liquid Dispersion**, *Ind. Eng. Chem. Res.*, v. 34, p. 2427-2435, 1995.
- NOIK, C.; PALERMO, T; DALMAZZONE, C. **Modeling of Liquid/Liquid Phase Separation: Application to Petroleum Emulsion**, *Journal of Dispersion Science and Technology*, v. 34, p. 1029–1042, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01932691.2012.735929>.
- PANJWANI, B. et al., **Dense Packed Layer Modeling in Oil-Water Dispersions: Model Description, Experimental Verification, and Code Demonstration**, *Journal of Dispersion Science and Technology*, v. 36, p. 1527-1537, 2015.
- RICHARDSON J. F.; ZAKI W. N. **SEDIMENTATION AND FLUIDISATION: PART I**, Institution of

Chemical Engineers, v. 32, p. S82-S100, 1954.

RUSCHE, H; ISSA, R. I. **The Effect of Voidage on the Drag Force on Particles, Droplets and Bubbles in Dispersed Two-Phase Flow**, Exhibition Road, London SW7 2BX, 2000.

SEADER, J. D.; HENLEY, E. J.; ROPER, D. K. **Separation Process Principles: Chemical and Biochemical Operations**. Ed 3, ed. John Wiley & Sons, Inc., USA, 2010.

SINKO, P. J. **Físico-farmácia e ciência farmacêuticas**, Ed 5, Artmed, São Paulo, 2008. ISBN 978-85-363-1329-0.

SJOBLOM, J. **Encyclopedic Handbook of Emulsion Technology**, Marcel Decker Inc., New York, 2001.

SOUZA, W. J. et al. **Effect of water content, temperature and average droplet size on the settling velocity of water-in-oil emulsions**, Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 32 (2), p. 455-464, 2015. DOI: [dx.doi.org/10.1590/0104-6632.20150322s00003323](https://doi.org/10.1590/0104-6632.20150322s00003323).

THOMPSON, D. G.; TAYLOR, A. S.; GRAHAM, D. E. **Emulsification and demulsification related to crude oil production**, Colloids and Surfaces, v. 15, p. 175-189, 1985.

WARREN, K. W. Emulsion Treating. In: ARNOLD, K. E. **PETROLEUM ENGINEERING HANDBOOK: Facilities and Construction Engineering**, v. 3, SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS. USA, 2007

XIA, L.; LU, S.; CAO, G. **Stability and demulsification of emulsions stabilized by asphaltenes or resins**, v. 270, p. 504-506, 2003.

## POTÊNCIA NECESSÁRIA AO RALEAMENTO DA VEGETAÇÃO NO SEMIÁRIDO

### **Márcio Waltzer Timm**

Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia Sul-Rio-Grandense  
Pelotas – RS

### **Antônio Lilles Tavares Machado**

Universidade Federal, Faculdade de Agronomia  
“Eliseu Maciel”, Departamento de Engenharia  
Rural  
Pelotas – RS

### **Roberto Lilles Tavares Machado**

Universidade Federal, Faculdade de Agronomia  
“Eliseu Maciel”, Departamento de Engenharia  
Rural  
Pelotas – RS

### **Rafael Gonçalves Tonucci**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária,  
Embrapa Caprinos e Ovinos  
Sobral - CE

**RESUMO:** Para execução do processo de raleamento no bioma Caatinga do Semiárido é muito importante a utilização de máquinas do tipo rotores trituradores acoplados em tratores de baixa potência, visando principalmente maior conforto e diminuição de tempo e mão-de-obra dos agricultores familiares na implantação de sistemas de exploração sustentáveis, chamados de sistemas agrossilvipastoris. O objetivo deste trabalho foi avaliar a mínima potência de corte em função dos parâmetros

rotação e velocidade de avanço, utilizando uma metodologia de corte proposta para trituradores florestais. As espécies arbóreas utilizadas como amostras, foram colhidas da região da Caatinga do Ceará. Utilizando um delineamento estatístico inteiramente casualizado no esquema fatorial (4x5), quatro avanços (0,013 km h<sup>-1</sup>, 0,027 km h<sup>-1</sup>, 0,038 km h<sup>-1</sup> e 0,054 km h<sup>-1</sup>) e cinco rotações (447, 638, 882, 1286 e 1792 rpm), com quatro repetições, a análise de variância resultou normal segundo os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors. Realizou-se então a regressão na análise de variância aplicando-se um delineamento inteiramente casualizado para as duas rotações que consumiram menor potência. A regressão linear foi significativa para ambas rotações e foi possível estabelecer equações lineares da potência de corte em função da velocidade de avanço do mecanismo responsável pelo corte. Dentre as espécies analisadas, determinou-se que a espécie *Jurema Preta-Mimosa tenuiflora*, foi a que exigiu mais demanda de potência de corte. Para esta pôde-se determinar que a rotação de 1286 rpm, consome menor potência de corte.

**PALAVRAS-CHAVE:** Máquinas agrícolas, Exploração sustentável, Semiárido, Projeto de máquina.

**ABSTRACT:** In order to carry out the process of thinning in the Semi-arid region Caatinga biome, it is very important to use crusher rotor type machines coupled to low power tractors, mainly aiming to increase comfort and reduce the time and labor of family farmers in the implantation of sustainable exploitation systems, called agroforestry systems. The objective of this work was to evaluate the minimum cutting power as a function of the parameters of rotation and speed of advance, using a cutting methodology proposed for forest crushers. The tree species used as samples were collected from the Caatinga region of Ceará. Using a completely randomized design in the factorial scheme (4x5), four advances (0.013 km h<sup>-1</sup>, 0.027 km h<sup>-1</sup>, 0.038 km h<sup>-1</sup> and 0.054 km h<sup>-1</sup>) and five rotations (447, 638, 882, 1286 and 1792 rpm), with four replicates, the analysis of variance was normal according to the statistical tests of Kolmogorov-Smirnov and Lilliefors with p-value  $p > 0.10$ . The regression was then performed in the analysis of variance by applying a completely randomized design for the two rotations that consumed less power. The linear regression was significant for both rotations and it was possible to establish linear equations of shear power as a function of the speed of the cutting mechanism. Among the species analyzed, it was determined that the species *Jurema Preta-Mimosa tenuiflora*, was the one that demanded more cutting power demand. For this it was possible to determine that the rotation of 1286 rpm consumes lower cutting power.

**KEYWORDS:** Agricultural machinery, Sustainable exploitation, Semiarid, Machine design.

## 1 | INTRODUÇÃO

No semiárido a agricultura familiar ainda é praticada de forma itinerante, na maioria das propriedades, utilizando o sistema tradicional de desmatamento e queimada. Na pecuária, o sobre pastejo também ocorre na maioria dos sistemas, alterando a estrutura do estrato herbáceo podendo causar a exaustão da vegetação forrageira, levando igualmente à degradação (Pereira Filho, 2013). Os sistemas agroflorestais pecuários desenvolvidos para a Caatinga possuem as seguintes vantagens: redução na prática da agricultura tradicional de desmatamento e queimadas (Campanha, 2011).

Para a execução do Sistema Agroflorestal (SAF) se faz necessário o corte de espécies vegetais, raleamento, que vem a ser uma conduta de manipulação da vegetação nativa da Caatinga utilizada para aumentar a oferta de forragem aos rebanhos mantidos nesse tipo de pasto. As vantagens deste método estão na menor necessidade de mão de obra e na possibilidade de utilização de equipamentos agrícolas que possam auxiliar o agricultor nos tratos culturais e no manejo animal (Cavalcante, 2013).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 7190 (1997), avalia as propriedades das madeiras através de ensaios estáticos, já a ASTM D1666-87 (1994), refere-se ao acabamento de madeiras. Néri (1999) propõe ensaios com

velocidades de corte baixas. McKenzie (1960), avalia os tipos básicos de corte na madeira, o ortogonal e o periférico, definindo três tipos de corte 90 – 0, 90 – 90 e 0 – 90. Entretanto não existe uma metodologia apropriada para avaliar a potência de corte em função da rotação e velocidade de corte.

Este trabalho visa avaliar a mínima potência de corte em função dos parâmetros rotação e velocidade de avanço, utilizando uma metodologia de corte proposta por Machado et al (2016), que servirá de parâmetro para projetos de máquinas para raleamento, que se enquadre aos tratores que podem ser adquiridos em programas de financiamento do Governo Federal, possibilitando aos agricultores familiares uma alternativa de trabalho menos oneroso, mais ágil e com adequado controle da prática utilizada, diminuindo assim os riscos de danos ao agroecossistema.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Para a definição de qual espécie vegetal consome maior potência do triturador, realizaram-se ensaios em cinco espécies de madeira oriundas da região da caatinga da cidade de Sobral, estado do Ceará (Figura 1). As coordenadas geográficas locais de referência são de 03° 41' 10" S de latitude, 40° 20' 59" W de longitude e 69m de altitude.



Figura 1. Madeiras utilizadas para o ensaio. Mufumbo-*Campomanesia lineatifolia* (A), Jurema Preta-*Mimosa tenuiflora* (B), Marmeleiro-*Croton sonderianus* (C), Pau preto-*Dalbergia melanoxylon* (D) e Sabiá-*Mimosa caesalpiniaefolia* (E)

Para o ensaio destas espécies, utilizou-se a metodologia de ensaio proposta por (Machado et al. 2016), onde utilizou-se uma Fresadora Vertical TOS-FA, com medidor de potência analógico, capacidade de medição de até 7 kW e uma filmadora Sony

HDR-XR260V para registrar a potência indicada no medidor da fresadora.

Para simular o ângulo de ataque e o diâmetro de corte, utilizou-se um porta-ferramenta, conforme estabelecido em Machado et al (2016) e uma ferramenta de aço rápido com 10% de cobalto apresentando ângulo de ataque de 30°. O porta-ferramenta foi construído de maneira a permitir o posicionamento da ferramenta para simular o diâmetro de corte dos equipamentos que são fixados em rotores trituradores comerciais. (DENIS CIMAF, 1991).

Foram confeccionados corpos de prova de tamanhos variados devido as dimensões das amostras, que foram cortadas na direção 90-0 (Néri, 2003), ou seja, no sentido das fibras. Foram executadas marcações, com 110 mm de comprimento e 8 mm de profundidade de corte a fim de permitir a realização do máximo de ensaios possíveis em cada amostra, buscando-se seu melhor aproveitamento.

Para a realização do ensaio, optou-se por utilizar uma ferramenta de aço rápido com 10% de cobalto, comumente empregada na usinagem de aços, com um ângulo de ataque de 30° que segundo NERI (1998) e Machado et al (2016) é a configuração que consome menor potência durante o corte.

As rotações utilizadas foram de: 447, 638, 882, 1286 e 1792 rpm. Já as velocidades lineares de avanço disponíveis para a mesa da fresadora, onde foram fixados os corpos de prova, foram: 224, 450, 630 e 900 mm min<sup>-1</sup> (0,013 km h<sup>-1</sup>, 0,027 km h<sup>-1</sup>, 0,038 km h<sup>-1</sup> e 0,054 km h<sup>-1</sup>), a fim de simular a velocidade de trabalho da máquina em direção à árvore. A potência necessária ao corte do corpo de prova foi lida no medidor acoplado a fresadora. Para cada rotação mediu-se a potência da máquina em vazio, ou seja, sem a máquina usinar (somente girando), e para a mesma rotação fez-se a leitura da potência de corte da máquina usinando a madeira. Foram efetuadas quatro repetições para cada ensaio. Este procedimento foi executado para uma dada rotação variando-se o avanço. Posteriormente mudou-se a rotação e mediram-se as potências para toda faixa de avanço novamente. O processo foi repetido até a última rotação de 1792 rpm para um ângulo de ataque de 30°.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada espécie de madeira analisada, foram medidas a potência em vazio (máquina sem executar a operação de corte), a máxima potência de corte em usinagem e a diferença entre elas. Verificou-se que a espécie Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora*) (Figura 2) consumiu mais potência em relação às outras espécies, a qual foi utilizada no experimento.

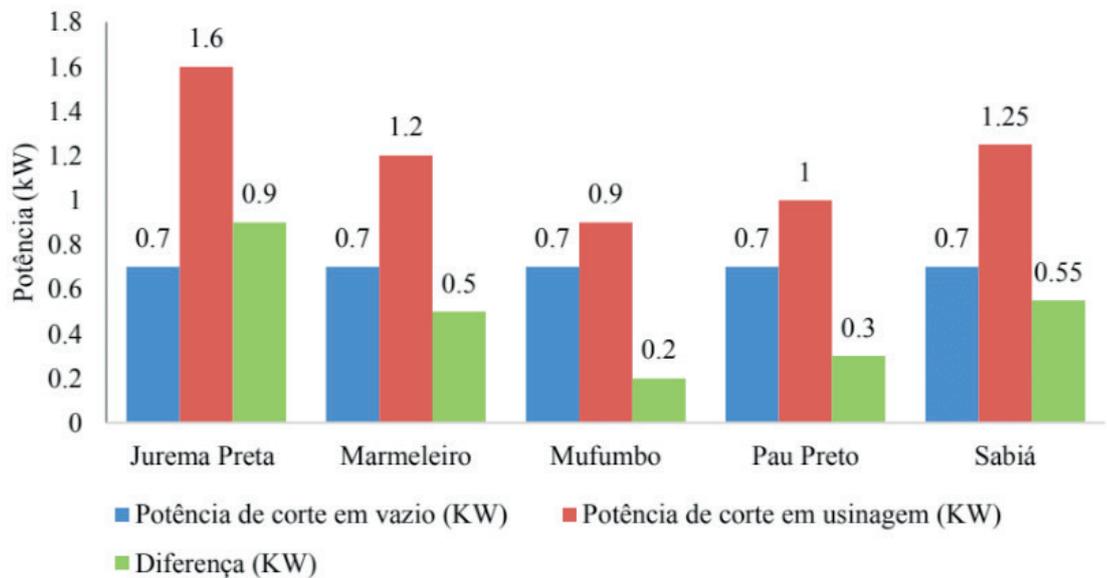


Figura 2. Valores da potência em vazio, máxima potência de usinagem e a diferença.

Desta forma estabeleceu-se a relação entre potência x rotação x avanço para tal espécie, tendo-se obtido os dados representados na Figura 3. Para cada rotação e cada avanço selecionou-se a potência máxima entre quatro repetições.

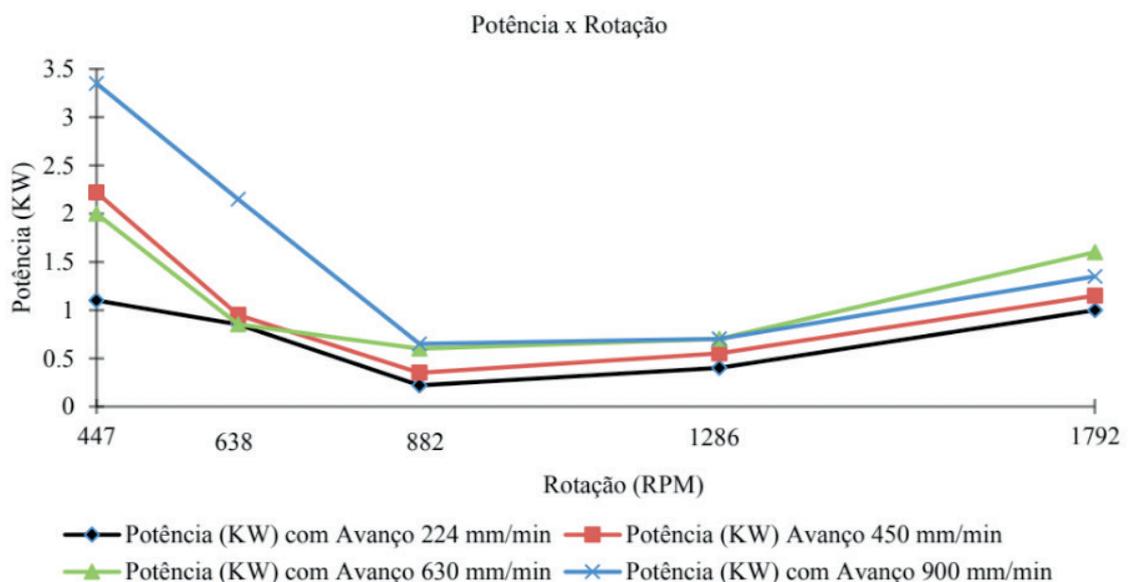


Figura 3. Potência de corte máxima em função da rotação

Observa-se, na rotação de 447 rpm, a tendência de que quanto maior a velocidade de avanço maior vem a ser a potência exigida, essa tendência se mantém com a rotação de 638 rpm, mas com redução de potência em todos os avanços, já na rotação seguinte de 882 rpm acontece novamente queda na potência. Entre as rotações de 882 e 1286 rpm as potências máximas para cada avanço possuem seus menores valores. A partir de 1286 rpm inicia-se a tendência de aumento de potência em relação as rotações seguintes. Com estes resultados, conclui-se que existe uma velocidade de corte ideal que está entre 882 e 1286 rpm, ou seja, velocidades abaixo e acima desta faixa não devem ser utilizadas, pois demandam muita potência de corte.

Foi realizada a análise de variância, num modelo estatístico fatorial (4x5) quatro avanços e cinco rotações, com 5% de significância, para a potência consumida, a qual resultou normal segundo os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors com o p-valor  $p > 0.10$ .

Realizou-se então a regressão na análise de variância aplicando-se um delineamento inteiramente casualizado para a rotação de 882 rpm, onde a regressão linear foi significativa ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 1).

Regressão na análise de variância – delineamento inteiramente casualizado				
FV	GL	SQ	QM	F
Regressão Linear	1	0,53301	0,53301	10,6244 **
Regressão Quadrada	1	0,03901	0,03901	0,7775 ns
Regressão Cúbica	1	0,07875	0,07875	1,5697 ns
Tratamentos	3	0,65077	0,21692	4,3239
Resíduo	12	0,60202	0,05017	
Total	15	1,25279		

Tabela 1. Quadro de análise da regressão na análise de variância para a rotação de 882 rpm.

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

ns não significativo ( $p \geq 0,05$ )

A análise de regressão, na rotação de 882 rpm, resultou na seguinte equação:  $y = 11,35x + 0,0798$ , onde com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9074$

Realizou-se a regressão na análise de variância aplicando-se um delineamento inteiramente casualizado para a rotação de 1286 rpm, onde a regressão linear foi significativa ao nível de 5% (Tabela 2).

Regressão na análise de variância – delineamento inteiramente casualizado				
FV	GL	SQ	QM	F
Regressão Linear	1	0,15753	0,15753	6,2621 *
Regressão Quadrada	1	0,00391	0,00391	0,1553 ns
Regressão Cúbica	1	0,00903	0,00903	0,3590 ns
Tratamentos	3	0,17047	0,05682	2,2588
Resíduo	12	0,30188	0,02516	
Total	15	0,47234		

Tabela 2. Quadro de análise da regressão na análise de variância para a rotação de 1286 rpm.

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

ns não significativo ( $p \geq 0,05$ )

A análise de regressão nesta rotação resultou na seguinte equação:  $y = 7,6987x + 0,333$ , com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,8455$

Com os dados da potência de corte em função da velocidade de avanço obteve-se a linha de tendência da potência de corte em função da velocidade de avanço na rotação de 882 rpm e 1286 rpm, Figuras 4 e 5.

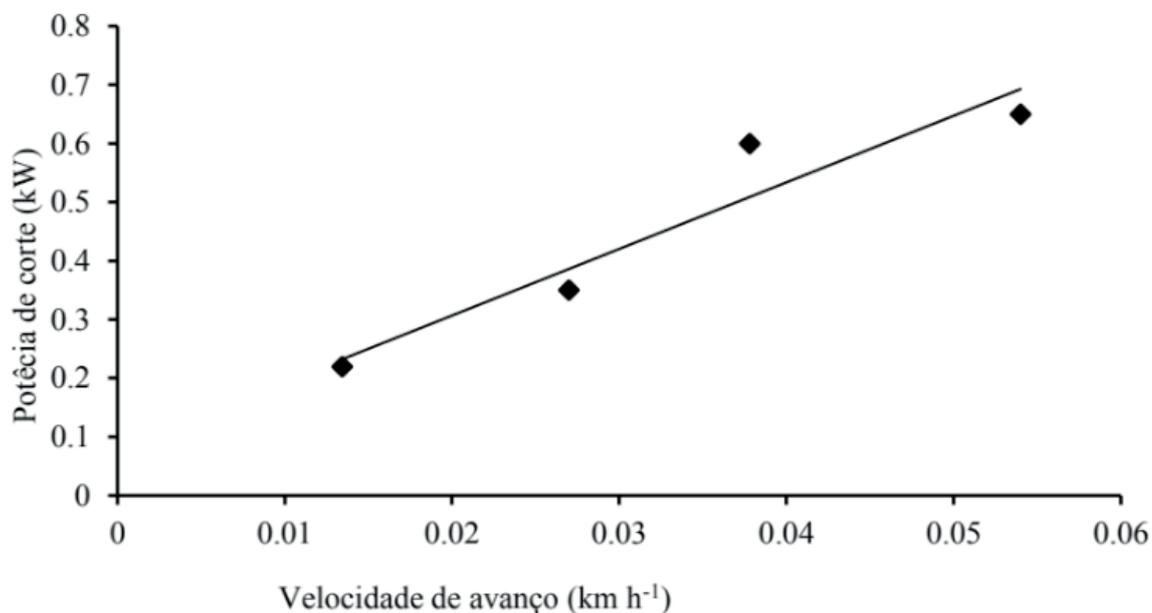


Figura 4. Linha de tendência da potência de corte em função da velocidade de avanço na rotação de 882rpm

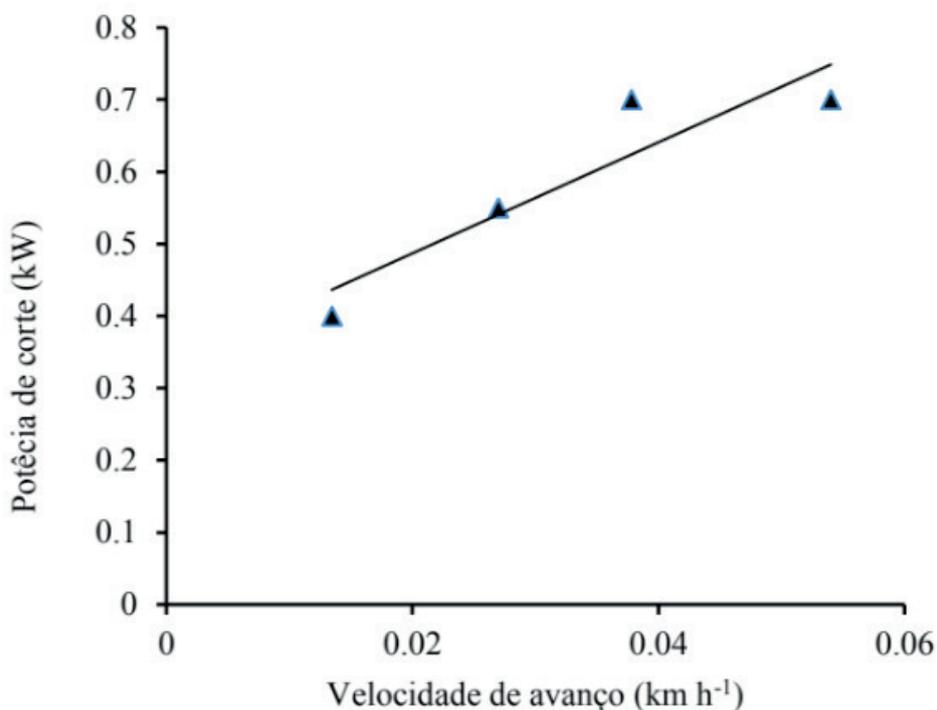


Figura 5. Linha de tendência da potência de corte em função da velocidade de avanço na rotação de 1286rpm

A velocidade de avanço média dos tratores na ré utilizados na região objeto de estudo (Caatinga cearense) é de 1 km h<sup>-1</sup>, utilizando-se esta velocidade nas equações de ajuste obtidas acima, 882 e 1286 rpm torna-se possível a determinação dos valores

da potência de corte da jurema preta, os quais são respectivamente 11,43 kW e 8,03 kW. Desta forma verifica-se que a potência de corte na rotação de 1286 rpm vem a ser a menor, sendo portanto a mais indicada para o projeto do triturador. Como a largura da ferramenta do ensaio foi de 10 mm, e sendo esta proporcional à potência de corte, torna-se possível o cálculo da máxima largura da ferramenta a ser utilizada no rotor triturador.

#### 4 | CONCLUSÃO

A aplicação de uma metodologia de corte em corpos de prova colhidos na Caatinga, possibilitou determinar os parâmetros de corte de forma rápida e precisa, que servirão de base para o projeto de trituradores Florestais.

Existe uma faixa de rotação onde a potência diminui, na qual os trituradores devem trabalhar, pois com a potência menor poderá se otimizar o projeto da máquina diminuindo o peso da estrutura e portanto o custo de fabricação.

#### REFERÊNCIAS

ASTM (american society for testing and materials, US). **Standard test methods for conducting machining tests of wood and wood-base materials**. ASTM D1666-11, 2011 23 p.

ABNT (associação brasileira de normas técnicas). **Projeto de estruturas de madeira ABNT (NBR-7190)**. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

CAMPANHA, M.M.; ARAÚJO, F. S. DE; MENEZES, M. O. T. DE; SILVA, V. M. A.; MEDEIROS, H. R. DE. **Estrutura da comunidade vegetal arbóreo-arbustiva de um sistema agrossilvipastoril, em Sobral-CE**. Revista Caatinga, v. 24, p. 94-101, 2011.

CAVALCANTE, A.C.R; FERNANDES, F. E. P., TONUCCI, R.G.; SOLVA, N. L. DA. **Tecnologias para o uso sustentável da Caatinga**. Campina Grande: EPGRAF, Cap. 6, p. 95-112, 2013.

DENIS CIMAF INC. **Desbastadores Florestais**. Canadá-1991. Disponível em <HTTP://deniscimaf.com. Acesso em: 19 Ago 2015.

NÉRI, A.C; GONÇALVES, R.; HERNADEZ, R.E.. **Forças de corte ortogonal 90-0 em três espécies de madeira de Eucalipto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v3, n.2, p. 239-244, 1999.

MACHADO, A.L.T.; TIMM, M. W.; MACHADO, R.L.T.; TONUCCI, R. G.; MEDEIROS F. A.. **Metodologia para medição da potência necessária ao corte por um triturador florestal**. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, Pelotas, v.1, n.2, p.11-16, 2016.

McKENZIE, W.M.. **Fundamental aspects of the wood cutting process**. Forest Products Journal, v.10, n.9, p.447-456, 1960.

PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, A.M. DE A; CÉZAR, M. F.. **Manejo da caatinga para produção de caprinos e ovinos**. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 14, n. 1, p. 77-90, 2013.

SOUZA, E. M. DE; SILVA, J. R. M. DA; LIMA, J. T., NAPOLI, A.; RAAD, T. J.; GONTIJO, T. G. **Energia específica de corte em serra circular para os clones de eucalyptus vm01 e Mn 463**.

Revista Cerne, Lavras, v. 17, n.1, p. 109-115, 2011. WOODSON, G. E., KOCH, P. Tool forces and chip formation in orthogonal cutting of loblolly pine. Research Paper SO - 52. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1960.

## SANEAMENTO: EVOLUÇÃO DAS OBRAS DE INFRAESTRUTURA E MELHORIA DA QUALIDADE DE VIDA DO BAIRRO PARAVIANA EM BOA VISTA/RR

### **Francilene Cardoso Alves Fortes**

Professora Dra Agrônoma - Irrigação e Drenagem do Centro Universitário Estácio da Amazônia (francilene.fortes@estacio.br)

### **Emerson Lopes de Amorim**

Professora MSc em Física de Plasma do Centro Universitário Estácio da Amazônia (emersonufr@gmail.com)

### **Iury Costa Aragão**

Estudantes do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Estácio da Amazônia

### **Thiago Barreto Tavares**

Estudantes do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Estácio da Amazônia

### **Cleiton Leandro Santana**

Estudantes do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Estácio da Amazônia

### **Maikon Barros de Lima**

Estudantes do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Estácio da Amazônia

**RESUMO:** Dentre o contexto acima supracitado, viu-se a necessidade de comparar as instalações de drenagem pluvial, distribuição de água e rede coletora de esgoto entre os anos de 2010 e 2016; bem como verificar o nível de conhecimento dos moradores a respeito de saneamento

básico; e conscientizar os moradores do bairro Paraviana, com medidas que venham a somar com a preservação do meio ambiente e prevenir contra doenças de veiculação hídrica. Neste sentido viu-se a necessidade de relatar sobre o bairro Paraviana, pois a população também precisa colaborar, evitando jogar lixos nas ruas, bueiros, valas e igarapés, uma vez que isso causa grandes transtornos. É preciso trabalhar em conjunto com a população para garantir o bom funcionamento da cidade. O local de estudo foi no bairro Paraviana, zona leste de Boa Vista – RR. O bairro tem uma população estimada de 5443 habitantes segundo o censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Este trabalho caracterizou-se em um estudo de campo e pesquisa quantitativa que procede à observação de fatos e fenômenos exatamente como ocorrem no real, à coleta de dados referentes aos mesmos e, a análise e interpretação desses dados serão utilizadas para uma comparação. A coletada de dados ocorreu através da aplicação de questionário para uma amostra dos moradores. Outra forma de obtenção dos dados foi através das empresas: CAER (2016) que cedeu dados referentes às ampliações feitas na rede de abastecimento de água, entre os anos de 2012 e 2016. A empresa ARCHITECH e a SMOU forneceram respectivamente os seguintes

dados, um mapa de Boa Vista-RR indicando as etapas das obras de esgoto por bairro; um mapa de ampliação e detalhamento da rede de drenagem pluvial somente do bairro Paraviana. Assim, o Paraviana, antes do ano de 2011 já possuía uma rede de esgoto que atendia cerca de 54% do bairro, Em virtude do crescimento do bairro, no ano de 2011 ocorreu a ampliação do sistema de esgotamento sanitário (Etapa 2) realizado pela empresa CMT engenharia, com duração de 24 meses e investimento de R\$ 73.684.210,53, beneficiando 7700 famílias. Quando as obras foram concluídas, o Paraviana teve um aumento de 43% da rede de coleta de esgoto. A respeito da coleta de esgoto gerado pela população e todo o esgoto coletado recebe tratamento. Em contrapartida, muitos moradores informaram que ainda utilizam fossas sépticas ou sumidouros para depositar os resíduos gerados. Afirmam ainda que para fazer a ligação com a rede, precisam alterar quase toda a instalação sanitária da residência, preferindo deixar do modo que está. Constatou-se que a rede de drenagem pluvial existente atendia cerca de 10% das ruas até o ano de 2015, porém a rede não supria à necessidade do bairro e no início do ano de 2016 a conclusão da mesma gerou um percentual de 12% a mais na rede de drenagem pluvial. Conclui-se que esse trabalho de campo, é de suma importância para ampliar o conhecimento técnico, visto que saneamento básico é um assunto impar no quesito qualidade de vida da população. Observou-se que o Paraviana possui uma ampla cobertura dos serviços e infraestrutura de saneamento básico, que acompanha a crescente evolução do local.

**PALAVRAS CHAVE:** saneamento, qualidade de vida, prevenção.

## 1 | INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), saneamento é o controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social. É o conjunto de medidas adotadas em um local para melhorar a vida e a saúde dos habitantes, impedindo que fatores físicos de efeitos nocivos possam prejudicar as pessoas no seu bem-estar físico mental e social (TRATA BRASIL, 2017).

Foi proposto pela prof.<sup>a</sup> Francilene Cardoso Alves Fortes a escolha de um bairro em Boa Vista – RR, escolheu-se o bairro Paraviana, para fazer um levantamento a respeito do saneamento desse local. Com esses dados obtidos em campo, será feito um comparativo com dados da Companhia de Águas e Esgotos de Roraima (CAER), empresa ARCHITECH Consultoria e Planejamento LTDA, Secretária Municipal de Obras e Urbanismo (SMOU) e Trata Brasil. Esses dados obtidos nos departamentos citados anteriormente estão entre os anos de 2010 e 2015.

Realizaremos uma conversação com moradores do bairro Paraviana com o propósito de saber qual o nível de conhecimento dessas pessoas sobre o respectivo assunto. Esses comparativos e as informações coletadas através dessas conversações serão apresentados de forma dissertativa.

Dentre o contexto acima supracitado, viu-se a necessidade de comparar as instalações de drenagem pluvial, distribuição de água e rede coletora de esgoto entre os anos de 2010 e 2017; bem como verificar o nível de conhecimento dos moradores a respeito de saneamento básico; e conscientizar os moradores do bairro Paraviana, com medidas que venham a somar com a preservação do meio ambiente e prevenir contra doenças de veiculação hídrica.

Dessa forma, justifica-se a necessidade de verificar a evolução das obras de infraestrutura e serviços do saneamento básico no bairro utilizando dados dos departamentos e empresas: CAER, ARCHITECH, SMOU e Trata Brasil e os adquiridos em levantamento *in-loco*. Visando informar os moradores do bairro e ampliar o nosso conhecimento técnico.

## 2 | REFERENCIAL TEÓRICO

Saneamento básico é indispensável à qualidade de vida. Sanear é controlar os fatores do meio físico do homem, que exerçam ou possam exercer efeito prejudicial ao seu bem-estar físico, mental ou social (LOPES, 2004).

E os reflexos das ações de saneamento ou de sua carência são notórios sobre o meio ambiente em particular os recursos hídricos, sendo essencial à vida humana e desempenhando um papel fundamental de substrato à vida em diferentes ecossistemas, por meio do ciclo hidrológico e da circulação atmosférica global, é fundamental para a regulação térmica do planeta (NASCIMENTO, HELLER, 2005).

Segundo CIPIS, MARTINI (2003) em todo o planeta, 2,4 bilhões de pessoas despejam seus esgotos a céu aberto, no solo ou em rios que passam perto de suas casas, porque não têm acesso a um serviço de coleta. No Brasil, a rede coletora chega a 53,8% da população urbana. Entretanto, a maior parte do volume recolhido não recebe nenhum tratamento e é despejada em rios, represas ou no oceano.

Apenas 35% dos esgotos coletados são submetidos a algum tipo de tratamento. Entre os poluentes resultantes dos esgotos estão: resíduos químicos, vinhoto, detergentes, organoclorados, chorume e os nitratos que estão presentes no esgoto doméstico. A falta de cuidados com a rede de esgoto chegará ao lençol freático e ao homem que geralmente está no fim dessa cadeia (CIPIS, MARTINI, 2003).

A cada dia, o ser humano utiliza aproximadamente 150 litros de água para suas necessidades como: banho, descargas, cozimento de alimentos, limpeza de casa, rega de jardins e escovação. Na maior parte das vezes toda esta água está contaminada por despejos de esgotos nos solos que infiltra no lençol freático (RODRIGUES, 2003).

De acordo com a Companhia de Águas e Esgotos de Roraima – CAER (2010) até o fim de 2011, 57% das casas de Boa Vista serão atendidas pela rede de esgoto, com a revitalização e ampliação do sistema de coleta realizado pelo governo. Hoje a rede de esgotamento sanitário cobre apenas 20% da capital.

De acordo com a mesma, foi destinada R\$ 70 milhões, oriunda também do PAC 1, a segunda etapa dos trabalhos está prevista para começar no mês de janeiro de 2011. Desta vez, as obras se resumirão à ampliação da rede coletora de esgotos, nos bairros União, Jardim Caranã, Cauamé, Jardim Floresta, Paraviana e parte dos bairros Aeroporto, São Vicente e Caçari, levando os resíduos até a Lagoa de Estabilização. Os trabalhos de implantação de esgoto nos diversos bairros de Boa Vista envolvem não só a implantação da rede nas ruas, mas também a ligação intradomiciliar (nas residências), sem custo direto para a população.

Os bairros atendidos com sistema coletor de esgoto são: São Pedro, São Vicente (incompleto), São Francisco, Aparecida, Centro, Bairro dos Estados, 13 de Setembro, Calungá (incompleto), 31 de Março, Mecejana (incompleto), Caçari, Paraviana e Canarinho, sendo o percentual da população atendida é de 21% (CAER, 2010).

O volume de esgoto faturado, coletado e tratado pelos bairros atendidos pela CAER é de 3.636.247 m<sup>3</sup>/ano ou 9.962 m<sup>3</sup>/dia. Nos demais bairros o esgoto doméstico é emitido para fossas sépticas residenciais e, em alguns casos, ligado clandestinamente a rede de drenagem pluvial.

Os resíduos sólidos é um dos maiores problemas que afeta as zonas urbanas modernas, independentemente do seu, tamanho, ele é responsável, em grande parte, pela deterioração do meio ambiente. O resíduo sólido urbano é o causador de vários impactos ambientais em todo mundo.

Os danos causados ao ecossistema natural com poluição dos recursos naturais como rios, solo, águas superficiais e subterrâneas, além de serem vetores transmissores de doenças, torna a disposição final do resíduo sólido urbano um dos mais graves problemas enfrentados pelos órgãos públicos (GUERRA; CUNHA, 2001). Conforme este relato justifica-se ainda mais o presente trabalho.

Pois a Prefeitura de Boa Vista (2016) informou que, desde o início da manhã do 31/05/2016, as equipes da Patrulha da Chuva atuaram em diversos pontos, fazendo um levantamento dos principais locais afetados com a forte chuva. “Além disso, os pontos mapeados estão sendo monitorados e muitos locais tiveram um rápido escoamento da água. As equipes intensificaram a limpeza nas tubulações de drenagem, galerias e margens de igarapés”, afirmou (FOLHA DE BOA VISTA, 2016).

Conforme a Prefeitura, a Defesa Civil Municipal atendeu cerca de 10 ocorrências. Os bairros atendidos foram Burity, Tancredo Neves, Jardim Floresta, Paraviana, Liberdade e Jardim Olímpico. Os casos envolviam água empossada e bocas de lobo entupidas. Todos os casos foram resolvidos pelas equipes. Foi feita ainda a retirada de galhos e troncos de árvores para evitar que acidentes aconteçam (FOLHA DE BOA VISTA, 2016).

Neste sentido viu-se a necessidade de relatar sobre o bairro Paraviana, pois a população também precisa colaborar, evitando jogar lixo nas ruas, bueiros, valas e igarapés, uma vez que isso causa grandes transtornos. É preciso trabalhar em conjunto com a população para garantir o bom funcionamento da cidade.

### **3 | METODOLOGIA**

#### **Local**

O local de estudo foi no bairro Paraviana, zona leste de Boa Vista – RR. O bairro tem uma população estimada de 5443 habitantes segundo o censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

#### **Tipo da Pesquisa**

Este trabalho caracterizou-se em um estudo de campo buscando dados qualitativos e quantitativos que procede à observação de fatos e fenômenos exatamente como ocorrem no real, à coleta de dados referentes aos mesmos e, a análise e interpretação desses dados serão utilizados para uma comparação.

#### **Coleta de dados**

A coletada de dados ocorreu através de conversação com uma amostra de moradores. Outra forma de obtenção dos dados foi através das empresas: CAER que cedeu dados referentes às ampliações feitas na rede de abastecimento de água, entre os anos de 2012 e 2016. A empresa ARCHITECH e a SMOU forneceram respectivamente os seguintes dados, um mapa de Boa Vista-RR indicando as etapas das obras de esgoto por bairro; um mapa de ampliação e detalhamento da rede de drenagem pluvial somente do bairro Paraviana.

### **4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Em visita técnica, no bairro Paraviana (Figura 1), realizada no dia 13 de abril de 2017, fizemos um levantamento em relação à saneamento básico. Constatou-se que o bairro possui sistema de coleta de esgoto, drenagem de águas pluviais, abastecimento de água e coleta de lixo.



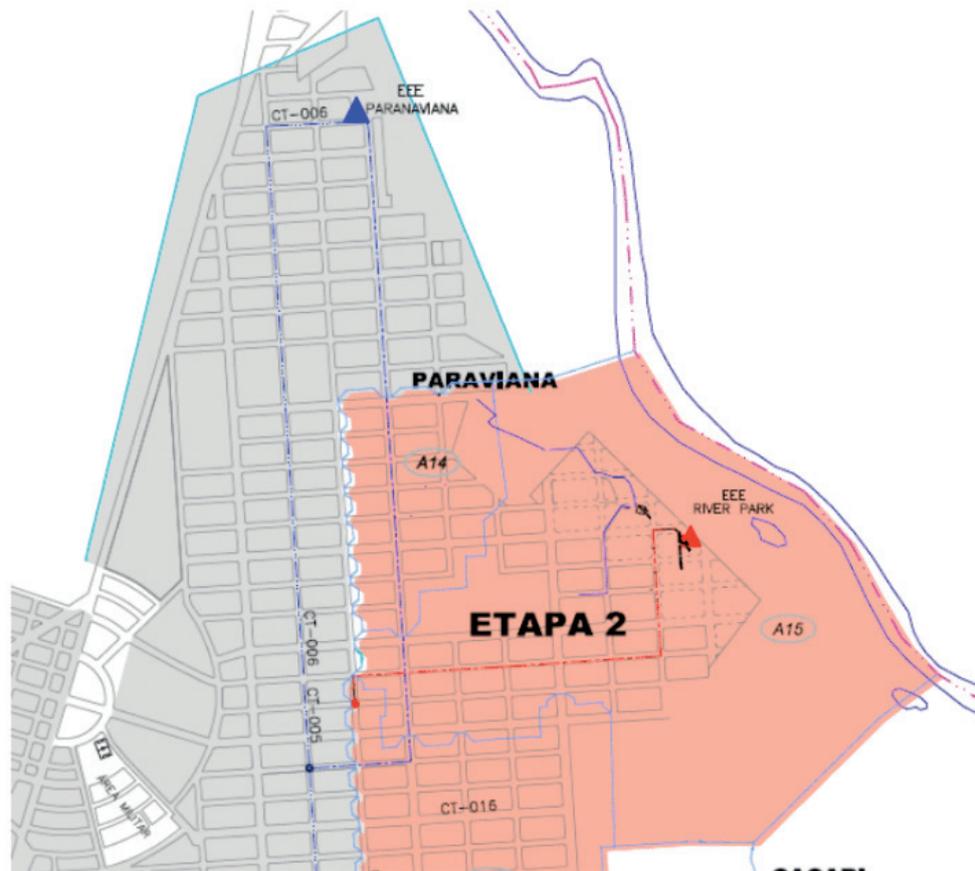


Figura 2 – Bairro Paraviana com rede de esgoto existente (em cinza) e rede de esgoto ampliada (em rosa).

Autor: Empresa ARCHITECH, 2015.

A Tabela 1 foi confeccionada comparando os dados coletados em campo com a Figura 2. Com o levantamento realizado e fazendo uma proporção básica, verifica-se que algumas ruas ainda não têm rede de esgoto, tratando-se de ruas que surgiram depois de realizada as obras da segunda etapa. Esse percentual equivale aproximadamente 3%.



Figura 3 – Integrantes do grupo realizando levantamento de campo.

Autor: Arlan Silva, 2017.

A Figura 3 retrata o momento em que o grupo verifica a existência de rede de esgoto nas ruas, para efetuar a comparação de dados. Durante a visita, verificou-se que o Paraviana possui duas Estações Elevatórias de Esgoto (EEE), conforme mostra a Figura 2.

A EEE Paraviana (Figura 4), contempla toda a área que já era existente antes da Etapa 2 ser realizada, como ocorreu a ampliação da rede, foi necessário a construção de outra EEE, denominada River Park (Figura 5), essa atende não somente o Paraviana, mas também os bairros adjacentes.



Figura 4 – Estação elevatória de esgoto Paraviana.

Autor: Thiago Barreto, 2017.



Figura 5 – Estação elevatória de esgoto River Park.

Autor: Arlan Silva, 2017.

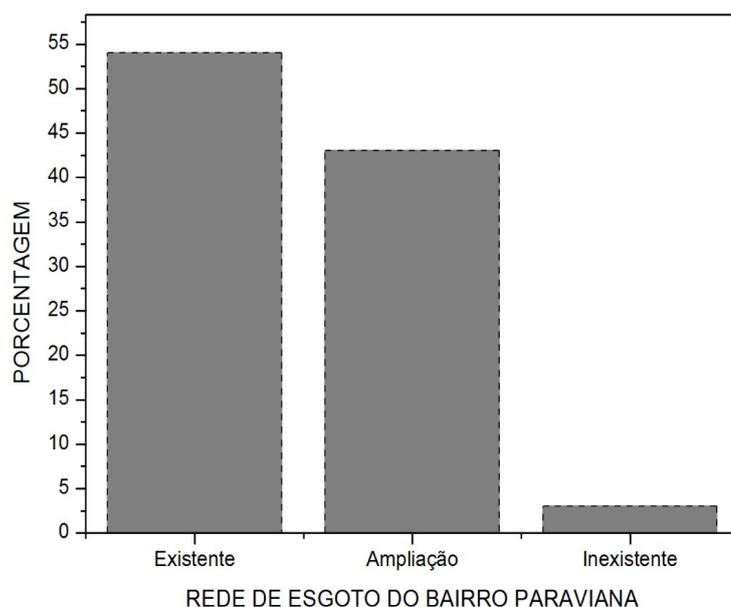


Gráfico 1 – Porcentagem da quantidade existente, ampliação e inexistente da rede de esgoto do Paraviana.

Autor: Iury Aragão, 2017.

O Gráfico 1 demonstra que a hoje o bairro Paraviana está bem evoluído a respeito da coleta de esgoto gerado pela população e todo o esgoto coletado recebe tratamento. Em contrapartida, muitos moradores informaram que ainda utilizam fossas sépticas ou sumidouros para depositar os resíduos gerados. Afirmam ainda que para fazer a ligação com a rede, precisam alterar quase toda a instalação sanitária da residência, preferindo deixar do modo que está.

Por mais que gere transtornos aos moradores, informamos que a ligação do esgoto residencial à rede é importante para o meio ambiente, em virtude de Boa Vista ser muito plana, o lençol freático é bastante superficial o que facilita de forma direta a infiltração do esgoto depositado na fossa séptica ou sumidouro no lençol freático.

Conforme levantamento em campo (Figura 6), constatou-se que a rede de drenagem pluvial existente atendia cerca de 10% das ruas até o ano de 2015, porém a rede não supria a necessidade do bairro. O Paraviana está localizado próximo ao rio Cauamé, com isso é uma região baixa. Devido esse fato, quando ocorriam chuvas, as águas de outros bairros escoavam rumo ao rio, gerando transtorno para a população.



Figura 6 – Grupo realizando levantamento de campo.

Autor: Arlan Silva, 2017.

Somente no início do ano de 2016 a Prefeitura Municipal de Boa Vista com recursos oriundos do Programa Calha Norte – PCN (Figura 7) iniciou obras que contemplam o sistema de drenagem da região. A conclusão do mesmo gerou um percentual de 12% a mais na rede de drenagem pluvial.



Figura 7 – Placa da Obra de extensão da rede de drenagem pluvial.

Autor: Maria Nathalya, 2017



Figura 8 Placa da Obra de extensão da rede de drenagem pluvial Autor: Jéssica Krauser, 2017.

No final do mesmo ano foi realizada no bairro, outra obra de extensão da rede de drenagem pluvial (Figura 9) visando solucionar os pontos mais críticos do mesmo.



Figura 9 – Obra de extensão da rede de drenagem pluvial em andamento. Autor: Maikon Barros, 2017..

Essa obra tem um porte maior que a anterior devido atender maior quantidade de ruas.

A obra citada anteriormente ainda está em andamento (Figura 10), e segundo informações extraoficiais do mestre de obra, quando finalizada vai aumentar a rede de drenagem pluvial em 58%. Com isso o bairro será atendido com aproximadamente 80% de drenagem pluvial.

Conforme a Tabela 2, percebe-se uma evolução significativa no sistema de drenagem pluvial da região. Apesar de 20% das ruas ainda não possuir o mesmo, o sistema atual quando concluído vai suprir a necessidade do bairro evitando alagamentos, e conseqüentemente transtornos à população.

Tabela 2 – DRENAGEM PLUVIAL BAIRRO PARAVIANA			
EXISTENTE	AMPLIADA (INÍCIO DE 2016)	AMPLIAÇÃO EM ANDAMENTO	INEXISTENTE
10%	12%	58%	20%

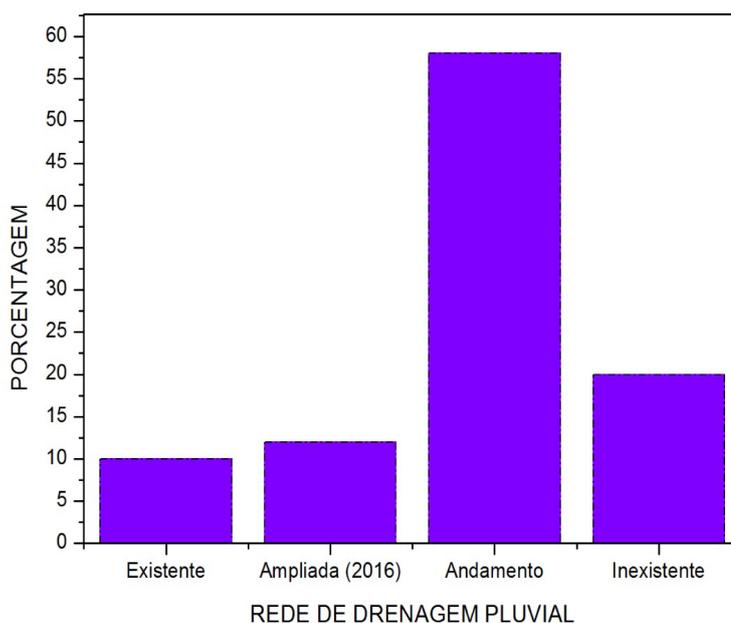


Gráfico 2 – Porcentagem da quantidade existente, ampliação, em andamento e inexistente da rede de drenagem pluvial do bairro Paraviana.

Autor: Iury Aragão, 2017.

Como meio de conscientização, explicamos para os moradores a importância de não realizar a ligação de esgoto doméstico na rede de drenagem pluvial, tendo em vista que todo o líquido despejado nessa rede, segue diretamente para o rio, sem passar por nenhum tratamento. Em conversa com alguns moradores e trabalhadores da obra de extensão da rede, fomos informados que a drenagem da água das chuvas

que ocorreram recentemente, aconteceu de forma rápida e eficaz resolvendo os pontos que anteriormente alagavam.

Segundo informações da CAER, a rede de distribuição de água cobre cerca de 99% do bairro. Conforme planilha cedida pela CAER foi confeccionada a Tabela 3, com os seguintes dados:

Tabela 3 – REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA		
	ANO DE 2012	ANO DE 2016
QUANTIDADE DE HIDRÔMETROS	2314	2525

Com base no Gráfico 3, observa-se um aumento de 211 novas instalações realizadas entre o período de 2012 e 2016, fato explicado pelo surgimento de novas ruas e conseqüentemente novas residências. Em visita ao bairro, não foi visto nenhum tipo de ligação clandestina em relação ao abastecimento de água.

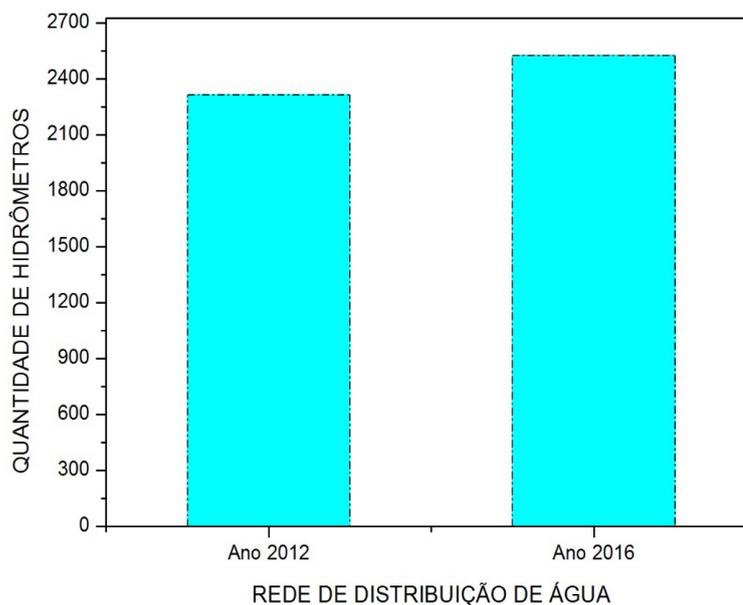


Gráfico 3 – Porcentagem da quantidade de hidrômetros nos anos de 2012 e 2016 do bairro Paraviana.

Autor: Iury Aragão, 2017.

A respeito da coleta de lixo do bairro, não conseguimos dados satisfatórios. De acordo com informação obtidas na Secretaria Municipal de Gestão Ambiental e Assuntos Indígenas não há dados específicos por bairro da quantidade de lixo coletado, visto que a coleta é feita de forma conjunta com outros bairros, e a balança do local onde é despejado o lixo recolhido, está danificada.

## 5 | CONCLUSÃO

Com base na pesquisa realizada, enfrentamos uma dificuldade para obtenção de dados nos órgãos municipais e estaduais, visto que os departamentos não têm informações claras e concisas de um bairro específico. Dessa forma para dar continuidade ao trabalho, tivemos que nos dirigir diretamente as empresas que estão realizando ou já realizaram algum serviço referente a saneamento básico. O conhecimento adquirido com esse trabalho de campo, é de suma importância para ampliar nosso conhecimento técnico, visto que saneamento básico é um assunto impar no quesito qualidade de vida da população. Observamos que o Paraviana possui uma ampla cobertura dos serviços e infraestrutura de saneamento básico, que acompanha a crescente evolução do local.

## REFERÊNCIAS

**Saneamento no Brasil - bakup.** Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil-bakup>>. Acesso em: 29/03/2017

CIPIS, Marcelo; MARTINI, Luiz Fernando. **Como cuidar de nossa água.** III série. CIP Câmara Brasileira do Livro, SP, 2003.

LOPES, Denise Maria dos Santos. **Saneamento do Meio.** GeFAM/DVS/SÉS, fev. 2004.

NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. HELLER, Lia. **Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento.** v.10. n.1, jan. /mar. 2005. 36-48. <[www.scielo.br](http://www.scielo.br)>.

LUZ, Luiz Augusto Rodrigues A. **Reutilização da água:** Mais uma chance para nós. RJ: Quality Mark, 2005.

**Companhia de Águas e Esgotos de Roraima – CAER /RR.** Disponível em: <<https://www.saneamentobasico.com.br/portal/index.php/arquivo/rr-rede-de-esgoto-de-boa-vista-e-ampliada>>. Acesso em: 11/04/2017.

**FOLHA DE BOA VISTA.** Ruas ficam alagadas e moradores ilhados. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/noticia/Ruas-ficam-alagadas-e-moradores-ilhados/16868>>. Acesso em: 11/04/2017.



## SANEAMENTO: IMPLICAÇÕES E EXECUÇÕES NAS OBRAS DE SANEAMENTO BÁSICO NO BAIRRO CINTURÃO VERDE NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA/RR

### **Francilene Cardoso Alves Fortes**

Professora Dra Agrônoma - Irrigação e Drenagem do Centro Universitário Estácio da Amazônia (francilene.fortes@estacio.br)

### **Emerson Lopes de Amorim**

Professora MSc em Física de Plasma do Centro Universitário Estácio da Amazônia (emersonufr@gmail.com)

### **Simone Vieira Vaz**

Estudantes do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Estácio da Amazônia

### **Geislani da Luz Araujo**

Estudantes do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Estácio da Amazônia

### **Numeriano Dantas de Medeiros**

Estudantes do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Estácio da Amazônia

### **Fabio Rodrigues de Jesus**

Estudantes do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Centro Universitário Estácio da Amazônia

**RESUMO:** O bairro escolhido foi o cinturão Verde, o qual pertence à zona oeste do município de Boa Vista criado através de loteamento da Imobiliária Santa Cecília com o desmembramento do bairro centenário. A maior parte do bairro foi invasão, e os moradores

que adquiriram seus lotes até hoje a maioria não tem seu título definitivo. Sendo assim, objetivo deste trabalho foi comparar a relação entre o atendimento pelos serviços públicos de saneamento e a incidência de determinadas doenças de veiculação hídrica; além de identificar as áreas sujeitas a inundações e propor alternativas para minimizar tais problemas. O bairro Cinturão Verde pertence a zona oeste do município de Boa Vista, desmembramento do bairro centenário e adquiriram seus lotes até hoje a maioria não tem seu título definitivo. É composto por 52 ruas e 2 avenidas, e interligado pelos bairro centenário, Pricumã, Buriti, Asa Branca e Jôquei Clube. A fim de adquirir informações sobre o saneamento básico da população residente na área. O bairro foi contemplado pela 3ª Etapa Lote A Área 09 para ser executada a rede de esgoto, o bairro não foi contemplado totalmente ficando uma pequena parte para ser executada na etapa seguinte chamada 4ª Etapa Lote B Área 18 que foi concluída no ano atual. A rede de esgotamento sanitário atualmente já foi liberado pela Companhia de Águas e Esgotos de Roraima – (CAER) para ser interligada pelo moradores na rede principal. A maioria dos moradores já usam os serviços de esgoto e já destruirão suas fossas sépticas e estão pagando uma taxa a CAER (2016) de 80% do valor da água. Concluir que a o bairro Cinturão Verde

possuem os três dos quatros pilares principais que formam o saneamento básico. Pois a rede de drenagem não está completa, falta ainda uns pontos críticos à serem solucionados .Não basta somente os órgãos públicos cuidarem da cidade, nós temos que fazermos a nossa parte também.

**PALAVRAS-CHAVE:** qualidade de vida, doenças, impactos, Cinturão Verde.

## INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), “saneamento é o controle de todos os fatores ambientais que podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar, físico, mental e social dos indivíduos”, tais como, poluição do ar (emissão de gases), do solo (lixo urbano) e das águas (dejetos lançados nos rios, represas etc.), poluição sonora e visual, ocupação desordenada do solo (margens de rios, morros etc.), o esgoto a céu aberto, enchentes etc.

Essas medidas que visa preservar ou modificar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde, melhorar a qualidade de vida da população e à produtividade do indivíduo e facilitar a atividade econômica.

No Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição e definido pela Lei nº. 11.445/2007 como o conjunto dos serviços, infraestrutura e Instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejo de resíduos sólidos e de águas pluviais.

A criação do bairro cinturão verde (Figura 01) pertence à zona oeste do município de Boa Vista, foi criado através de loteamento da Imobiliária Santa Cecília com o desmembramento do bairro centenário. A maior parte do bairro foi invasão, e os moradores que adquiriram seus lotes até hoje a maioria não tem seu título definitivo. O bairro e composto por 52 ruas e 2 avenidas, e interligado pelos bairro centenário, Pricumã, Buriti , Asa Branca E Jóquei Clube.

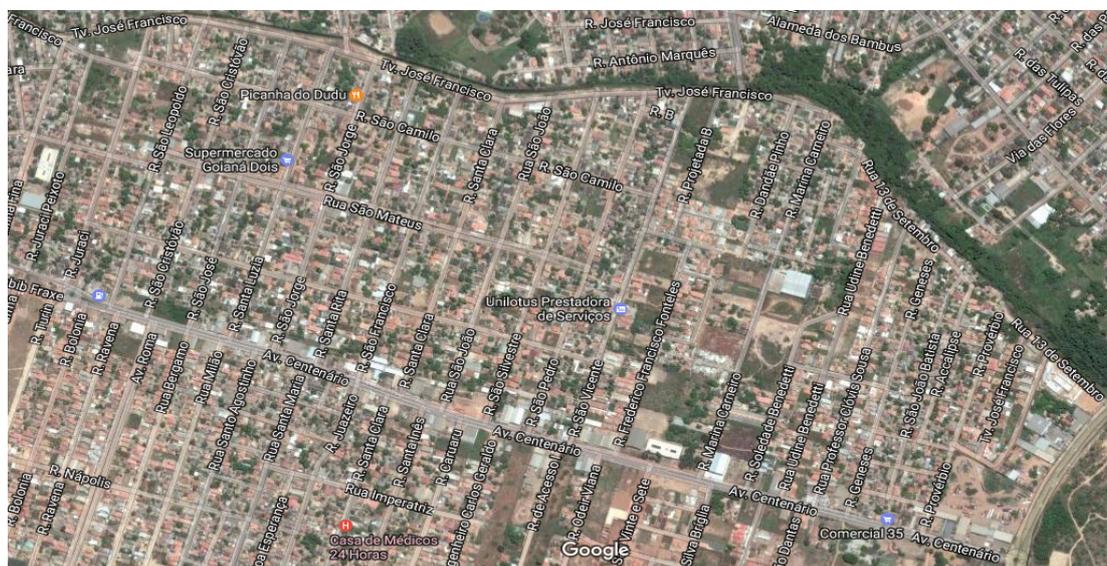


Figura 01: Mapa do cinturão verde.

Fonte: (GOOGLE, 2012).

Segundo dados obtidos do Censo do IBGE (2010) a população do bairro Cinturão Verde em Boa Vista é de aproximadamente 5.907 habitantes, composto por 2.914 homens e 2.993 mulheres, podendo ser observado na Tabela 01.

<b>População do bairro Cinturão Verde</b>			
<b>Faixa etária</b>	<b>População homens</b>	<b>População mulheres</b>	<b>Porcentagem</b>
De 0 á 14 anos	854 hab	863 hab	29%
De 15 á 24 anos	581 hab	612 hab	20%
De 25 á 34 anos	560 hab	630 hab	20%
De 35 á 44 anos	492 hab	481 hab	16%
De 45 á 54 anos	257 hab	230 hab	8%
De 55 á 64 anos	105 hab	106 hab	4%
De 65 á 74 anos	42 hab	47 hab	2%
Acima de 75 anos	23 hab	24 hab	1%
Total por genero	2.914 hab	2.993 hab	-
<b>Total 5.907 habitantes</b>			

Tabela 01 – Quantitativo de População na área de estudo.

Fonte: IBGE (2010).

Devido à necessidade de continuar a discutir os 10 anos da Lei de Saneamento, destacando a universalização do acesso; mostrando a importância dela, e os desafios existentes no cenário de Boa Vista/RR, afim de que ela avance e mude o cenário caótico em que vivemos.

No Brasil, o Saneamento Básico é considerado um direito assegurado pela Constituição, mas, não é bem isso que o cenário nos indica. Sendo definido pela Lei nº 11.445/2007, sendo um fator essencial para um país poder ser chamado de país desenvolvido. Os serviços de água tratada, coleta e tratamento dos esgotos levam à melhoria da qualidade de vidas das pessoas, sobretudo na Saúde Infantil com redução da mortalidade infantil, melhorias na Educação, na valorização dos Imóveis, na Renda do trabalhador, na Despoluição dos rios e Preservação dos recursos hídricos, etc (FOLHA DE BOA VISTA, 2017).

Cerca de 35 milhões de brasileiros não têm acesso à água tratada e metade do país não tem coleta de esgotos. Somente 42% dos esgotos gerados são tratados e isso explica a péssima qualidade da água da maior parte de nossos rios, reservatórios, baías. Estudo do Instituto Trata Brasil (2016) mostrou que o Brasil convive com centenas de milhares de casos de internação por diarreias todos os anos (400 mil casos em 2011, sendo 53% de crianças de 0 a 5 anos), muito disso devido à falta de saneamento.

Neste sentido o trabalho se torna relevante, pois o saneamento básico significa, acima de tudo, bem estar, qualidade de vida, sendo uns dos indicadores que eleva o IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) de qualquer cidade, pelo que ela oportuniza aos seus habitantes. E a OMS (Organização Mundial de Saúde) diz que, a cada dólar investido no saneamento básico, se economiza quatro dólares na saúde. Isso se justifica ainda mais este trabalho.

## METODOLOGIA

O local de estudo foi no bairro Cinturão Verde em Boa Vista – RR (Figura 02). O bairro tem uma população estimada de 5907 habitantes segundo o censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).



Figura 02: Localização da pesquisa, Rua São Pedro.

Fonte: (Google, 2012).

Este trabalho caracterizou-se em um estudo de campo buscando dados qualitativos e quantitativos que procede à observação de fatos e fenômenos exatamente como ocorrem no real, à coleta de dados referentes aos mesmos e, a análise e interpretação desses dados serão utilizadas para uma comparação.

A coleta de dados ocorreu através de conversação com uma amostra de moradores. Outra forma de obtenção dos dados foi através das empresas: CAER que cedeu dados referentes às ampliações feitas na rede de abastecimento de água.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de obter resultados em 6 de Abril de 2017, no intervalo das 15 horas às 18 horas, foi realizada a aplicação de questionários no bairro Cinturão Verde, com o objetivo de se adquirir informações sobre o saneamento básico da população

residente na área. O estudo foi feito considerando a quantidade de 75 famílias onde se pesquisou um percentual de 40 % das famílias, Figura 03 A, B e C.



Figura 03: Entrevista e questionário com os moradores da área de estudo.

Fonte: (Autores, 2017).

Em relação à rede de esgoto o bairro foi contemplado pela 3º Etapa Lote A Área 09 (Figura 04) para ser executado a rede de esgoto.



Figura 04: 3º Etapa lote A área 09 (Empresa Renovo Engenharia, 2014).

No entanto o bairro não foi contemplado totalmente ficando uma pequena parte para ser executada na etapa seguinte chamada 4º Etapa Lote B Área 18 (Figura 05) que foi concluída no ano atual.



Figura 05: 4ª Etapa lote B área 18 (Empresa Renovo Engenharia, 2017).

Das informações coletadas, constatou-se que 73% da rua São Pedro, já utiliza o sistema de esgotamento sanitário, apenas 27% ainda não utilizam, mas vale lembrar que o bairro cinturão verde já está com 100% da rede de esgoto concluída. Além disso, suas taxas de esgoto já estão sendo cobradas pela CAER, sendo o valor estipulado 80% do valor da água.

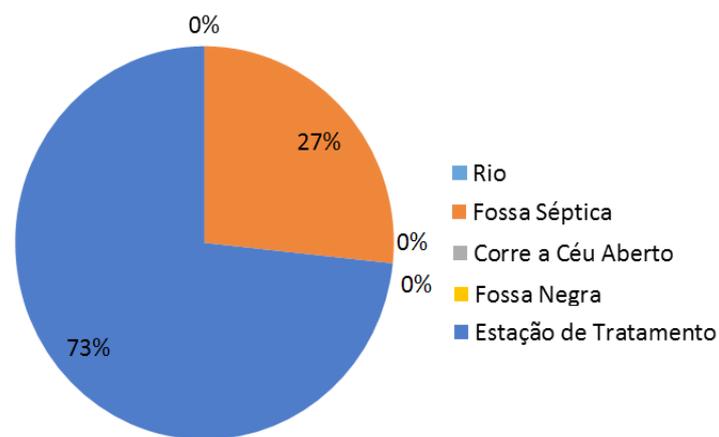


Gráfico 01: lançamento do esgoto da residência.

Mediante aplicação de questionário, foram obtidos resultados satisfatórios quanto ao sistema de esgotamento sanitário no local de estudo, pois no Gráfico 01, constatou-se que 73% da rua São Pedro já utiliza o sistema de esgotamento sanitário, apenas 27% ainda não utilizam, mas vale lembrar que o bairro cinturão verde já está com 100% da rede de esgoto concluída. E suas taxas de esgoto já estão sendo cobradas pela Caer, sendo o valor estipulado 80% do valor da água. Um detalhe importante é que 100% do esgoto de Boa Vista recebe tratamento, o que elimina os riscos de contaminação dos rios e igarapés da cidade.

No entanto o sistema de esgotamento sanitário principal possuem diâmetro de 200mm, onde inicia-se com a estrutura chamada TL (Terminal de Limpeza e possuem à profundidade de 1,05m. Geralmente o TL encontra-se nas cabeceiras das ruas, a distância de uma estrutura à outra segundo a norma não deve exceder 100m e não ultrapassar a declividade mínima exigida que é 0,0043.

Após o TL, a estrutura a seguir chama-se PI (Poço de Inspensão), pois sua altura é superior a 1,05m e inferior a 1,80m. Ao ultrapassar a profundidade de 1,80m, a estrutura passa a chama-se PV (Poço de Visitar). A sequência correta de uma rede de esgoto é inicia-se com o TL, passando ao PI e finalmente chegasse ao PV, podendo ser observado na Figura 06 - A e B.



Figura 06: A - 4º Etapa lote B área 18. B - Ramal de esgoto Sanitário.

Fonte: (Autores, 2017).

A Seinf (2016) esclarece à população que, a reconstrução de calçadas e asfalto nos bairros onde estão sendo executadas as obras de esgoto, é feita tão logo é encerrado o trabalho de implantação da rede coletora e ligação predial da mesma, por equipes da própria empresa responsável pelos serviços.

Em visita in loco nota-se que para uma cidade se desenvolver ela precisa passar por alguns transtornos em virtudes da execução de uma obra, e nessas etapas não foram diferentes. As medidas que a rede de esgoto foram sendo executadas, foram observados algumas falhas, podendo ser Figura 07 A, B e C.



Figura 07: A - Ligação Domiciliar sem tampa, servindo de drenagem de águas pluviais. B - ligação com vazamento de esgoto – provável ligação clandestina. C- Vala mal compactada, causando recalque e posteriormente afundamento do pavimento e calçada.

Fonte: (Autores, 2017).

Na figura 08 A pode observar que o bairro possui um interceptor que tem a função de coletar todo esgoto sanitário do bairro, pois ele encontra-se a uma profundidade maior que 1,80m e é constituído somente de PV (poço de visitas) e levar até a elevatória portal do sol, situada na rua travessa São Francisco , foi executada pela empresa CMT- engenharia.



Figura 08: A - Pv (Poço de Visita) do Interceptor.

Fonte: Autores, 2017. B - E.E.E-portal do Sol (Google, 2012).

A localização escolhida para a execução de uma E.E.E (Figura 8 B), leva em consideração a declividade do terreno, Pois á mesma encontra-se em ponto estratégico devido as uma bacia próxima se encontrarem com tubulações muito profundas.

Dessa forma, à necessidade de uma construção par bombear o esgoto ao uma cota mais elevada para ela prosseguir. O bombeamento é feito por auxílios de motor-bombas e geralmente essas Bombas são do tipo centrífugas. O projeto deve estar de acordo com as normas da ABNT NBR 12 209 (Elaboração de projetos Hidráulicos - Sanitários de Estação de Tratamento de Esgoto Sanitários).

Quanto à rede de águas pluviais diferencia do esgoto, pois sua função e de captar a água da chuva e levá-la até um lago mais próximo. Por isso, não é permitido

interligar a rede de esgoto na rede de drenagem, o morador que fizer este tipo de ligação está cometendo crime ambiental. Além dessa diferença ela é formada por manilhas e não tubos de pvc e interligadas a bocas de lobos, sua declividade é de 2%, pode ser observado na Figura 09.

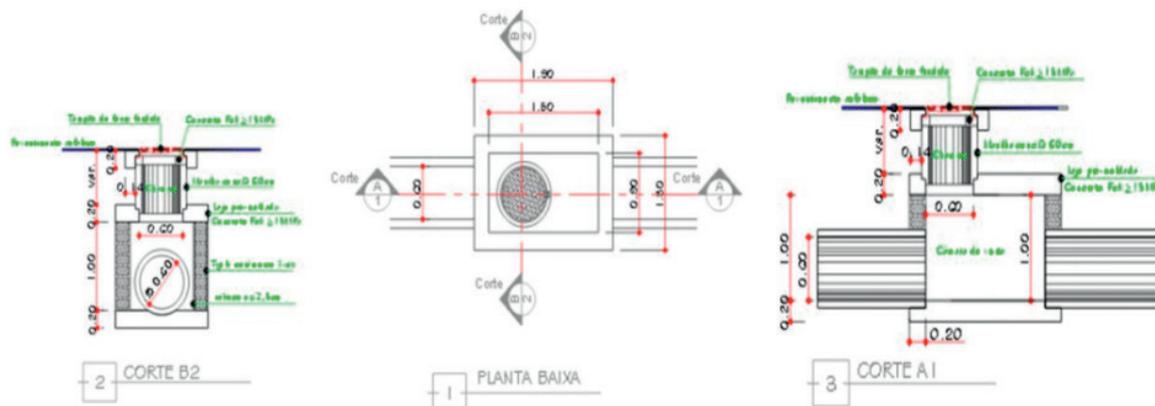


Figura 09: Detalhes da Boca de Lobo Simples.

Fonte: Autores (2017).

A Prefeitura de Boa Vista é responsável pelas obras de drenagem do bairro Cinturão Verde e os demais. No ano de 2014 as equipes coordenadas pela Secretaria Municipal de Obras e Urbanismo, finalizaram 300 metros de tubulação da rua Projetada B, compreendido entre a travessa Projetada A e o Igarapé Pricumã.

Das informações coletadas no Gráfico 02, constatou-se que 96% da rua São Pedro não é contemplado pela rede de drenagem, os 4% são por que a casa fica de esquina e nelas as bocas de lobos de outras redes ajudam no escoamento das águas.

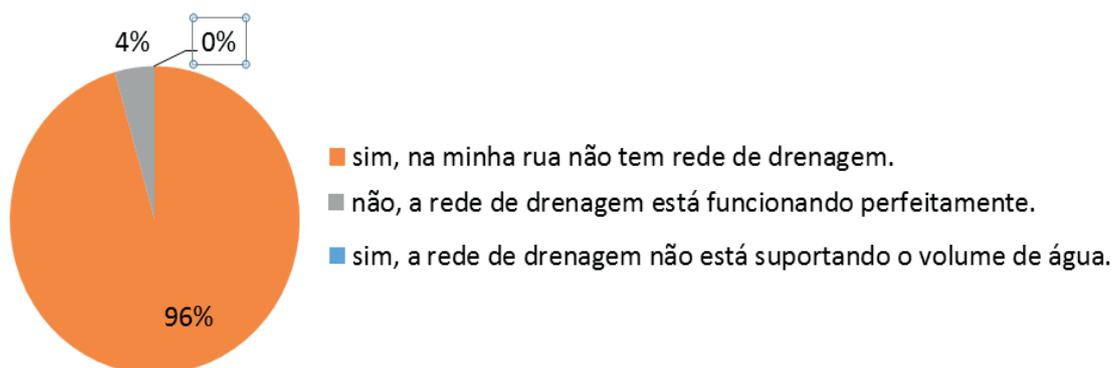


Gráfico 02: Alagamento na área de estudo.

A região é um dos pontos críticos da cidade contemplados com obras de infraestrutura para evitar alagamentos. Ao todo, o bairro recebeu 2.226 metros de drenagem até início de 2015. Este trabalho fez parte do conjunto de ações implementadas pela prefeitura para acabar com 24 das 54 áreas críticas mapeadas no município de Boa Vista.

Para evitar os transtornos causados pelas fortes chuvas em Boa Vista, a Secretaria

Municipal de Obras e Urbanismo (Smou) diz ter investido R\$ 65 milhões com o objetivo de identificar e reformar pontos de alagamento na cidade. Os levantamentos e ações fazem parte da 'Patrulha da Chuva'. A reforma dos 13 locais começou em outubro de 2014 e foi concluído em janeiro de 2015. Ao todo, quatro secretarias municipais foram envolvidas no trabalho de prevenção de enchentes.

Secretarias de Obras, do Meio-Ambiente, de Trânsito e da Gestão Social. Segundo o secretário, os pontos onde as obras são executadas primeiro são escolhidos de acordo com a quantidade de famílias que será beneficiada, se a região possui comércio, se são avenidas ou ruas que servem como corredor de ônibus, entre outros pontos.

Das informações coletadas na área de estudo no Gráfico 03, constatou-se que 77% utilizam os serviços da coleta de lixo. Restando 23% dos moradores que ainda ateam fogo em lixo.

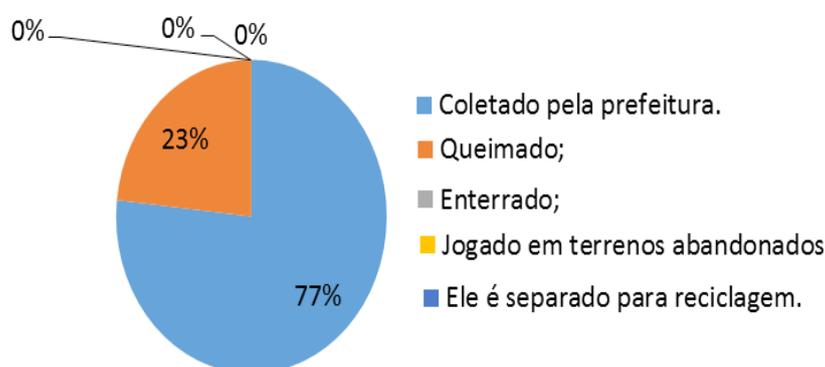


Gráfico 03: Destinação final do lixo na residência.

Com relação à coleta de lixo na área de estudo, no horário noturno nos dias (segunda, quarta e sexta feira) no horário das 18:40 às 3:00. No mês de Março a prefeitura de Boa Vista anunciou novas regras para terrenos baldios e coletas de entulhos.

No entanto, a Lei Municipal N° 947/2007 quem atea fogo em lixo esta cometendo crime ambiental. Quem for pego fazendo esta prática na primeira vez, será advertido, e a partir da segunda, a pessoa é multada em valores que vão de R\$ 500 a R\$ 500 mil, dependendo do tamanho do dano.

O projeto de lei está em fase de elaboração e em breve será encaminhado à Câmara Municipal de Boa Vista para aprovação; porém conforme o projeto, o proprietário de terrenos baldios que não fizer a limpeza do terreno será multado em até de 200 UFM (unidade fiscal municipal), aproximadamente R\$ 560,00. Se mesmo assim não providenciar a limpeza no prazo de 10 dias, será multado novamente, com acréscimo de 50% do valor por reincidência.

Antes, o proprietário era notificado e tinha prazo de 10 dias para regularizar a situação e só depois era multado com o descumprimento dos prazos. No caso do recolhimento de galhadas, o valor atual de R\$ 40,00 passará a ser de R\$ 200,00 e o

recolhimento de entulhos, atualmente de R\$ 120,00 passará para R\$ 300,00.

Além de pagar a taxa, o morador terá de agendar a data do recolhimento. Caso o morador coloque o entulho na frente da residência muito antes da data agendada, será penalizado com multa que se inicia a partir de R\$ 1.000,00 e responderá por crime ambiental. Essas novas regras foram pensadas para educar a população em relação ao descarte correto do lixo e para evitar a proliferação do *Aedes Aegypti*. É possível dizer que 70% dos criadouros estão dentro das residências e terrenos baldios.

Na figura 10 nota-se no terreno baldio grandes quantidades de sucatas causando transtornos para a vizinhança situa-se entre a Rua São José e rua travessa são Francisco. Neste local já foi motivo de várias reclamações, pois esses entulhos servem de criadouros de mosquitos da dengue, ratos, baratas e até cobras.



Figura 10: A e B - Descartes de sucatas.

Fonte: (Google, 2012).

Como observado na figura acima, pouca coisa mudou, esse terreno continua abandonado servindo de criadouros de mosquitos da dengue, baratas, ratos e até cobras.

Já o abastecimento de água da capital está dividido em dois sistemas: Captação superficial das águas do Rio Branco, localizado no bairro São Pedro, que através de duas adutoras, encaminham a água bruta para as duas estações de tratamento de águas (ETA) e captação subterrânea realizadas em diversos bairros da cidade através dos 62 poços tubulares instalados. As águas bombeadas destes poços recebem cloração antes de serem encaminhadas para o abastecimento.

Os sub-sistemas estão localizados nos bairros: Buritis, Caranã, Pintolândia, Tancredo Neves e Jardim Equatorial. O controle da qualidade da água fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos de Roraima (CAERR) é rigoroso. O monitoramento da qualidade da água começa com a análise da água bruta (retirada direto do rio), antes mesmo do tratamento.

É nessa fase que se avalia a quantidade necessária de cada produto no tratamento. Depois de tratada, uma nova análise é feita, dessa vez para saber se os índices de potabilidade estão de acordo com o exigido pelo Ministério da Saúde na portaria nº 2914/11.

A CAERR possui três laboratórios. Um para análises físico-químicas, outro para análises bacteriológicas e o terceiro de soluções. Nesses laboratórios, técnicos farmacêuticos, químicos e biólogos analisam uma série de fatores discriminados pela portaria, como: turbidez, cor, condutividade, PH, sólido dissolvido, cloro, alcalinidade, dureza, cálcio, acidez e CO<sup>2</sup>.

As coletas no rio Branco são feitas quinzenalmente, e nos municípios do interior do Estado as coletas são feitas mensalmente. Já as coletas na capital, são feitas em pontos diversos da cidade, três vezes por semana. Os resultados das análises são cadastrados on-line, no sistema de controle do Ministério da Saúde. Além disso, também são enviadas cópias para vigilância sanitária e ambiental municipal e para o Programa de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano Estadual (*Vigiágua*).

O bairro Cinturão Verde possui 100% de água potável, distribuída pela Companhia de Águas e Esgotos de Roraima (CAER) e suas tubulações são composta de rede de PVC PBA Ø50,100 e 150, conforme Figura 11.

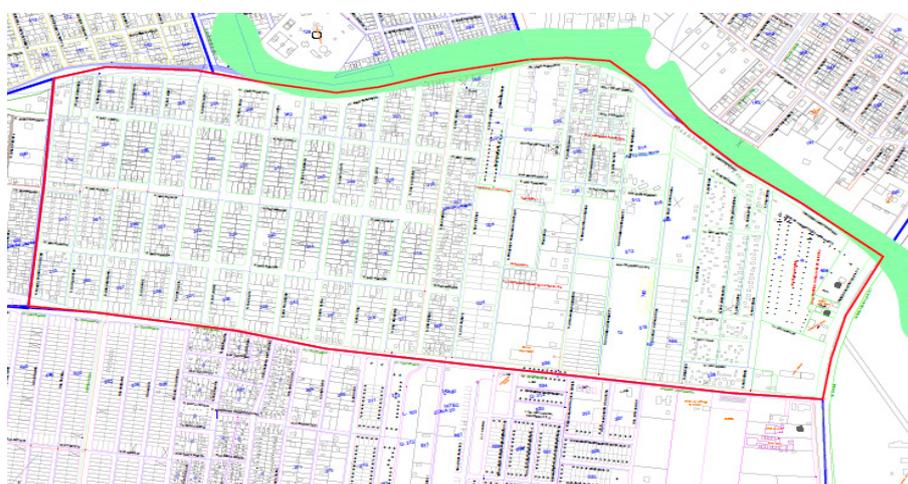


Figura 11: Mapa de fornecimento de água.

Fonte: CAER (2017).

Isso está acordado com os resultados encontrados nas entrevistas e questionários aplicados em visita in loco, podendo ser observado no Gráfico 03.

Das informações coletadas, constatou-se que 100% da rua São João, assim como o bairro Cinturão Verde utiliza a água potável que vem da rede pública fornecida pela Companhia de Águas e Esgotos de Roraima (CAER).

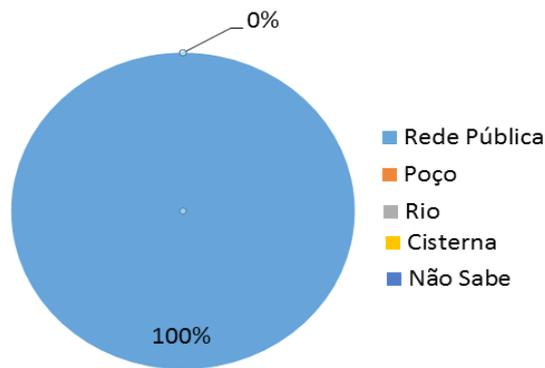


Gráfico 03: Distribuição da água utilizada na casa.

Das informações coletadas, constatou-se que as famílias que moram na rua são grandes, devido ter agregados nas famílias vindo de outros estados. Da quantidade pesquisada, 40 % são compostas de mais de quatro moradores por residência; 33 % por um número de quatro habitantes, e somente 10 % declararam que na mesma família mora somente duas pessoas.

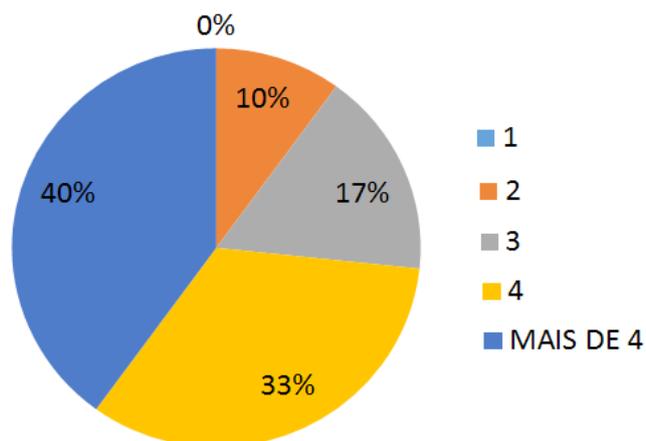


Gráfico 04: Quantidade de pessoas morando nas casas

## CONCLUSÃO

Concluir-se que a o bairro Cinturão Verde possuem os três dos quatros pilares principais que formam o saneamento básico, onde a rede de drenagem não está completa, falta ainda uns pontos críticos a serem solucionados.

Não basta somente os órgãos públicos cuidarem da cidade, nós temos que fazermos a nossa parte também, pois se estima que para cada R\$: 1,00 gasto com saneamento básico economizamos R\$: 4,00 em saúde pública.

## REFERÊNCIAS

**Saneamento no Brasil - bakup.** Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil-bakup>>. Acesso em: 29/03/2017.

**Companhia de Águas e Esgotos de Roraima – CAER /RR.** Disponível em: <<https://www.saneamentobasico.com.br/portal/index.php/arquivo/rr-rede-de-esgoto-de-boa-vista-e-ampliada>>. Acesso em: 11/04/2017.

**FOLHA DE BOA VISTA.** Ruas ficam alagadas e moradores ilhados. Disponível em: <<http://www.folhabv.com.br/noticia/Ruas-ficam-alagadas-e-moradores-ilhados/16868>>. Acesso em: 11/04/2017.

SEINF - Secretaria Estadual de Infraestrutura. 2016. Saneamento: obras avançam e já cobrem mais de 60% de Boa Vista. Disponível em: <<http://www.roraimaemfoco.com/saneamento-obras-avancam-e-ja-cobrem-mais-de-60-de-boa-vista>> . Acesso em: 11/04/2017.

## SINTONIA ÓTIMA DO CONTROLADOR PID APLICADO AO CONVERSOR CC-CC BUCK

### Rhonei Patric dos Santos

rhoneipatric.eletrica@gmail.com

Universidade Estadual de Santa Cruz

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas

Rodovia Jorge Amado, Km 16, Bairro Salobrinho

45662-900 – Ilhéus – Bahia

### Lucas Sampaio Garcia

lucasufu@gmail.com

Universidade Estadual de Santa Cruz

Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas

Rodovia Jorge Amado, Km 16, Bairro Salobrinho

45662-900 – Ilhéus – Bahia

**RESUMO:** Com o objetivo de se conhecer o comportamento de conversores CC-CC, que fornecem tensão contínua regulada a partir de uma fonte CC não regulada, o estudo desenvolvido neste trabalho refere-se ao desenvolvimento de um conversor do tipo buck. Este, que fornece tensão reduzida em relação à tensão de entrada, foi objeto de estudo em que obteve-se a partir de modelagem matemática a estratégia de controle para regulação de tensão. Utilizou-se uma estratégia de controle ótima baseada nos índices de desempenho de erro, visando minimizar o efeito de perturbações na regulação da tensão fornecida à carga. Resultados de simulações são apresentados como estágio inicial do estudo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Conversor buck, Conversor cc-cc, Controlador PID, Controle ótimo, Espaço de estados.

**ABSTRACT:** In order to know the behavior of DC-DC converters, which provide regulated DC voltage from an unregulated DC source, the study developed in this paper refers to the development of a buck type converter. That provides reduced voltage in relation to input voltage, then it was the object of study in order to obtain a control strategy for voltage regulation from mathematical modeling. It used an optimal control strategy based on error performance indexes to minimize the effect of disturbances in the voltage regulation provided to the load. Simulation results are presented as the first stage of this study.

**KEYWORDS:** Buck converter, DC-DC converter, PID controller, Optimal control, State space

### 1 | INTRODUÇÃO

O conversor CC-CC ou *chopper*, como costuma ser denominado é usado para obter uma tensão CC variável a partir de uma fonte de tensão CC constante. O valor médio da tensão de saída varia de acordo com o tempo no qual a saída fica ligada à entrada. Essa conversão pode ser obtida pela combinação de

um indutor e/ou capacitor e de um dispositivo de estado sólido que opere no modo de chaveamento de alta frequência.

Os conversores CC-CC são usados em várias aplicações industriais nas quais há uma fonte constante. As aplicações típicas incluem controle de motores CC para tração elétrica, chaveamento de alimentadores de potência, UPS (*uninterruptible power supplies* - fontes de alimentação de funcionamento contínuo) e equipamentos operados por bateria (AHMED, 200).

Distúrbios no ponto de operação, na entrada ou na carga, implicam na necessidade de implementação de controladores para que a tensão de saída seja mantida constante.

Ao longo dos anos diversos autores se preocuparam em estudar métodos de sintonia para controladores, especialmente o controlador PID, devido à necessidade de se obter facilmente a resposta desejada do processo de acordo com o modelo ou resposta dinâmica do sistema. Mais recentemente, foram apresentadas técnicas baseadas em otimização para a obtenção da sintonia ótima segundo critérios de desempenho clássicos. Sendo assim, utilizou-se um método de sintonia ótimo via otimização *online* utilizando os índices de desempenho baseados na integral do erro.

O objeto de estudo deste trabalho é o conversor *buck*, apresentando estudos sobre seu princípio de funcionamento, modelagem matemática, através do espaço de estados médio e estratégia de controle, aplicando a sintonia ótima do controlador PID através dos índices de desempenho baseados na integral do erro. Tal metodologia possibilita um ajuste automático do controlador PID com o auxílio de um sistema embarcado ao conversor, definindo-se apenas qual índice melhor se adequa à necessidade, o PID pode ser auto-ajustado, mesmo sem um conhecimento do modelo da planta. Os resultados puderam ser validados através de simulações computacionais.

## 2 | CONVERSOR BUCK

O conversor *buck* é um conversor abaixador que transforma uma tensão CC constante em uma tensão CC ajustável e menor que a tensão de entrada. O circuito do conversor *buck* está representado na Figura 1 (ERICKSON & MAKSIMOVIC, 2001).

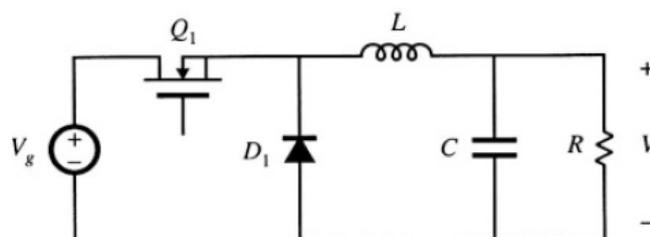


Figura 1 - Conversor buck

O conversor funciona da seguinte forma: Quando o interruptor é acionado, o dispositivo de estado sólido faz com que o diodo polarize-se inversamente, e a fonte, junto ao indutor, transfere energia à carga elevando o potencial do capacitor. Quando o interruptor é desligado pelo controle, a carga drena energia armazenada no filtro  $LC$ , reduzindo o potencial do capacitor por sua vez, através da polarização direta de .

A Figura 2 ilustra as etapas de operação do conversor. A Figura 3 mostra a forma de onda da corrente no indutor (ERICKSON & MAKSIMOVIC, 2001).

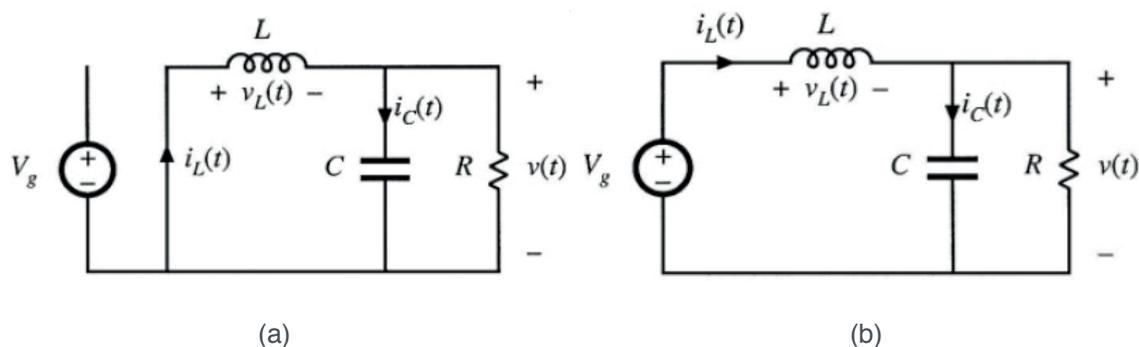


Figura 2 – Etapas de Operação do Conversor *buck*: (a) Chave fechada; (b) Chave aberta

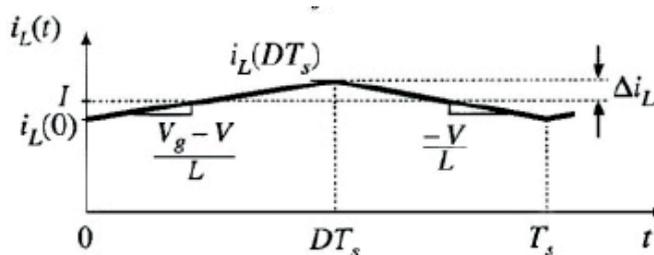


Figura 3 - Forma de onda da corrente no indutor

## 2.1 Equação da Indutância

A equação da indutância é baseada na Lei de Faraday e na tensão sobre o indutor durante o primeiro intervalo de chaveamento. Uma ondulação de corrente ocorre durante este processo e deve ser considerado nos cálculos, onde o indutor atua como um filtro para esta ondulação, que não deve ultrapassar 20% do valor da componente CC da corrente à plena carga (ERICKSON & MAKSIMOVIC, 2001).

A equação da indutância é mostrada na equação (1).

$$L = \frac{V_g - v(t)}{2\Delta i_L} DT_s \quad (1)$$

Onde  $D$  é a razão cíclica do conversor, dada por:  $D = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}}$  e  $T_s$  é o período de chaveamento, igual a  $T_{on} + T_{off}$

## 2.2 Equação da Capacitância

O cálculo da capacitância de saída é feito estimando-se a forma de onda de corrente do capacitor, representando a ondulação de corrente no indutor. A capacitância  $C$  é escolhida grande o suficiente para que sua impedância com a frequência de comutação seja muito menor que a impedância da carga  $R$ . Assim, quase toda a ondulação de corrente do indutor flui através do capacitor e muito pouco através da carga (ERICKSON & MAKSIMOVIC, 2001).

O cálculo da capacitância é dado pela Equação (2).

$$C_o = \frac{v(t)(V_g - v(t))}{8L\Delta V_c f^2 V_g} \quad (2)$$

Onde  $L$  é a indutância calculada anteriormente e  $f$  é a frequência de chaveamento.

## 3 | MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem matemática do conversor *buck* será representada em espaço de estados a partir da forma geral para sistemas lineares e invariantes no tempo representada pelas Equações (3) e (4).

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (3)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad (4)$$

Em conversores CC-CC as variáveis do vetor de estado  $\forall R^n$  são a corrente no indutor e a tensão no capacitor, escolhidas devido a estes serem os elementos armazenadores de energia. A saída  $y(t) \forall R$  é a tensão no capacitor em paralelo com a carga. Como os conversores CC-CC típicos possuem dois estágios de operação selecionados pelo estado da chave, as matrizes  $A$  e  $B$  variam de acordo com o estágio.  $C$  e  $D$  são constantes.

Quando o conversor está operando com a chave fechada, ele é representado pelas equações (5) e (6).

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dv_C}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{-1}{L} \\ \frac{1}{C} & \frac{-1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} v_g \quad (5)$$

$$y(t) = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + 0v_g \quad (6)$$

Quando está operando com a chave aberta, ele é representado pelas Equações (7) e (8).

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dv_C}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} v_g \quad (7)$$

$$y(t) = [0 \quad 1] \begin{bmatrix} i_L \\ v_C \end{bmatrix} + 0v_g \quad (8)$$

### 3.1 Modelo CA do Conversor

O modelo CA do conversor é baseado no espaço de estados médio, que fornece um conjunto de equações obtidas pela média das matrizes de estado dos dois estágios, linearizando o sistema através da inserção de perturbações de pequenos sinais.

Inserindo-se perturbações na tensão de entrada  $\hat{V}_g$  e na razão cíclica  $\hat{d}(t)$ , a equação de estado do conversor *buck* em espaço de estados médio é representado pela Equação (9) (ERICKSON & MAKSIMOVIC, 2001).

$$\begin{bmatrix} \frac{d\hat{i}_L}{dt} \\ \frac{d\hat{v}_C}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{i}_L(t) \\ \hat{v}_C(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{D}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [\hat{v}_g \quad 0] + \begin{bmatrix} \frac{v_g}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \hat{d}(t) \quad (9)$$

A partir da equação (9), é possível estudar as pequenas perturbações acerca do ponto de operação, determinando a resposta dinâmica do sistema. Com o modelo linearizado, é possível representar o sistema por meio da sua função de transferência no domínio de Laplace.

As equações no domínio do tempo são convertidas para o domínio da frequência através do conjunto de equações (10) – (11).

$$\hat{x}(s) = [(sI - As)^{-1}Bs \quad (sI - As)^{-1}B_d] \begin{bmatrix} \hat{u}(s) \\ \hat{d}(s) \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\hat{y}(s) = [Cs(sI - As)^{-1}Bs \quad Cs(sI - As)^{-1}B_d] \begin{bmatrix} \hat{u}(s) \\ \hat{d}(s) \end{bmatrix} \quad (11)$$

A Equação (12) apresenta a solução do sistema.

$$\begin{bmatrix} \hat{i}_L(s) \\ \hat{v}_C(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{DCRs+D}{CLRs^2+Ls+R} & \frac{v_gCRs+v_g}{CLRs^2+Ls+R} \\ \frac{DR}{CLRs^2+Ls+R} & \frac{Rv_g}{CLRs^2+Ls+R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{u}(s) \\ \hat{d}(s) \end{bmatrix} \quad (12)$$

Para o projeto do controlador PID será utilizada a função de transferência que relaciona a variação de tensão na carga pela variação da razão cíclica  $\frac{\hat{v}_C(s)}{\hat{d}(s)}$  (ERICKSON & MAKSIMOVIC, 2001).

Serão estudados também o comportamento do conversor mediante perturbações na tensão de entrada  $\frac{\hat{v}_C(s)}{\hat{v}_g(s)}$  e na carga, representada pela equação (13), proposta

em (ERICKSON & MAKSIMOVIC, 2001).

$$Z_{out}(s) = \frac{RLs}{CLRs^2 + Ls + R} \quad (13)$$

#### 4 | SINTONIA ÓTIMA DO CONTROLADOR PID

O problema da sintonia ótima do controlador PID pode ser descrito da seguinte forma: Definido um índice de desempenho para o sistema a ser controlado, determinar os ganhos do controlador PID de maneira que, dentro do intervalo de tempo especificado, a resposta do sistema de controle composto pelo processo e o controlador minimize o índice  $J(K_p, K_i, K_d)$  (SILVA, 2005).

Visando uma melhor resposta do conversor mediante às perturbações que possam ocorrer, uma estratégia ótima de controle foi elaborada, utilizando os índices de desempenho baseados na integral do erro.

Quatro índices são usualmente aplicados para avaliar o desempenho do controlador. São eles:

ITSE: *Integrated Time Squared Error* (Integral do erro quadrático ponderado pelo tempo)

Este índice de desempenho reduz a contribuição de grandes erros iniciais bem como enfatiza erros que acontecem mais tarde na resposta (DORF & BISHOP, 2001).

Matematicamente define-se o critério ITSE da seguinte forma:

$$J = \int_0^{t_f} t e^2(t) dt \quad (14)$$

ITAE: *Integrated Time Absolute Error* (Integral do erro absoluto ponderado pelo tempo)

Assim como o índice de desempenho ITSE, este critério reduz a contribuição de grandes erros iniciais bem como enfatiza erros que acontecem mais tarde na resposta. Apresenta baixo *overshoot* e as oscilações são bem amortecidas (DORF & BISHOP, 2001).

Matematicamente define-se o critério ITAE da seguinte forma:

$$J = \int_0^{t_f} t |e(t)| dt \quad (15)$$

ISE: *Integrated Squared Error* (Integral do erro quadrático)

O critério ISE proporciona grandes ponderações para erros grandes e pequenas ponderações para erros pequenos. Um sistema projetado utilizando este critério tende a apresentar uma resposta rápida e oscilatória (FERMINO, 2014).

Matematicamente define-se o critério ISE da seguinte forma:

$$J = \int_0^{t_f} e^2(t) dt \quad (16)$$

IAE: *Integrated Absolute Error* (Integral do erro absoluto)

O critério IAE considera o módulo do erro. Um sistema ótimo projetado com este critério é um sistema que possui amortecimento razoável, isto é, uma resposta com sobressinal mas não demasiadamente oscilatória (FERMINO, 2014).

Matematicamente define-se o critério IAE da seguinte forma:

$$J = \int_0^{t_f} |e(t)| dt \quad (17)$$

## 5 | RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os parâmetros do conversor.

$V_o$ (V)	20
$R$ ( $\Omega$ )	10
$L$ ( $\mu H$ )	625
$C$ ( $\mu F$ )	25
$F$ (kHz)	20
$D$	0,5
$V_o$ (V)	10
$P$ (W)	10
$I$ (A)	1

Tabela 1 - Parâmetros do Conversor

O controle da tensão de saída do conversor *buck* pode ser executado com ação direta sobre a razão cíclica do conversor, através da equação  $\frac{\hat{v}_c(s)}{\hat{d}(s)}$ .

O projeto do controlador PID para realizar o controle de tensão do conversor foi feito utilizando-se a plataforma *sisotool* do *software MATLAB*, apresentando como especificações de desempenho frequência de cruzamento por zero menor ou igual a um quarto da frequência de chaveamento e margem de fase entre 45° e 90°, propostas em (BARBI, 2006).

A Figura 4 ilustra a estrutura de controle utilizada para o projeto do controlador PID.

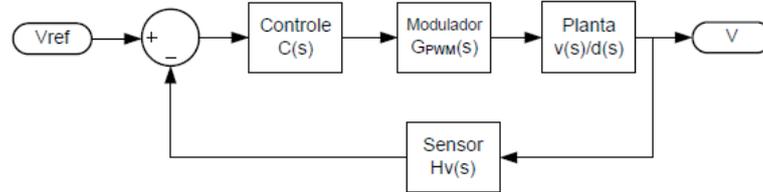


Figura 4 – Malha de controle de tensão do conversor

A função de transferência do modulador PWM é dada pela equação (18), proposta em (ERICKSON & MAKSIMOVIC, 2001).

$$G_{PWM}(s) = \frac{1}{V_M} \quad (18)$$

Onde  $V_M = 10V$ . Aplicando-se os valores de R, L e C, a função de transferência de malha aberta do sistema é mostrada na equação (19).

$$\frac{\hat{v}_C(s)}{\hat{d}(s)}(s) \cdot G_{PWM}(s) = \frac{1,28 \cdot 10^8}{s^2 + 4000s + 6,4 \cdot 10^7} \quad (19)$$

A Tabela 2 mostra a relação entre margem de fase e frequência de cruzamento dos sistemas compensado e não-compensado:

	Não - Compensado	Compensado
Frequência (kHz)	2,14	5,0
Margem de Fase (°)	24,8	59,0

Tabela 2: Frequência de cruzamento e Margem de fase

A tabela 3 apresenta os ganhos do controlador PID.

$K_p$	$K_i$	$K_d$
2,764	4607	$2,3 \cdot 10^{-4}$

Tabela 3: Ganhos do controlador PID

A Figura 5 mostra as respostas em malha fechada, onde ambos os sistemas foram simulados em ambiente *Simulink/MATLAB*. No instante 5ms uma perturbação na tensão de entrada foi aplicada e em 7ms foi aplicada uma perturbação na carga.

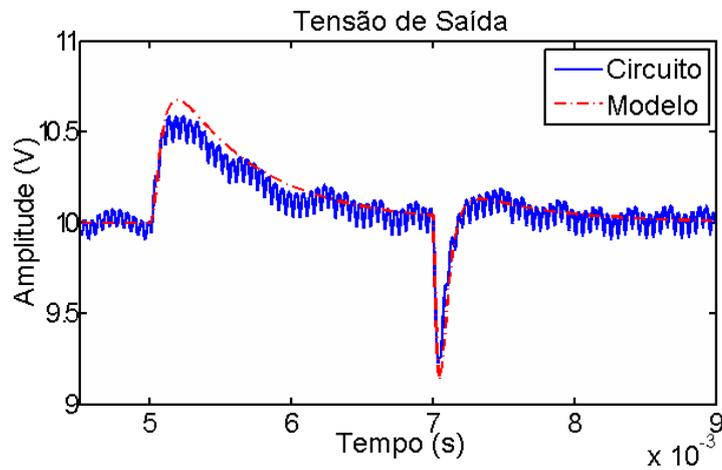


Figura 5 – Resposta circuito x Resposta modelo

Analisando a Figura 5, pode-se verificar que as respostas em malha fechada das simulações do circuito e do modelo são muito próximas, sendo assim, um controlador projetado através do modelo matemático e aplicado no circuito apresentará respostas satisfatórias e compatíveis com o projeto.

Os índices de desempenho de erro representados pelo conjunto de equações (14) – (17) foram calculados através de um algoritmo implementado por meio da função *fminsearch*, que é parte do *Optimization Toolbox* do *MATLAB*. Esta função explora um método de otimização que encontra o mínimo de uma função escalar de várias variáveis a partir de uma estimativa inicial através de um método de procura simplex.

Na sintonia ótima do controlador PID, o algoritmo faz uma busca em torno dos valores iniciais de ganhos do controlador PID, que são pré-definidos e simula o circuito, obtendo os valores da variável erro e aplicando nas equações características de cada índice de desempenho. Este realiza a integração do erro e retorna os valores de  $K_p$ ,  $K_i$  e  $K_d$ , que minimizem o erro.

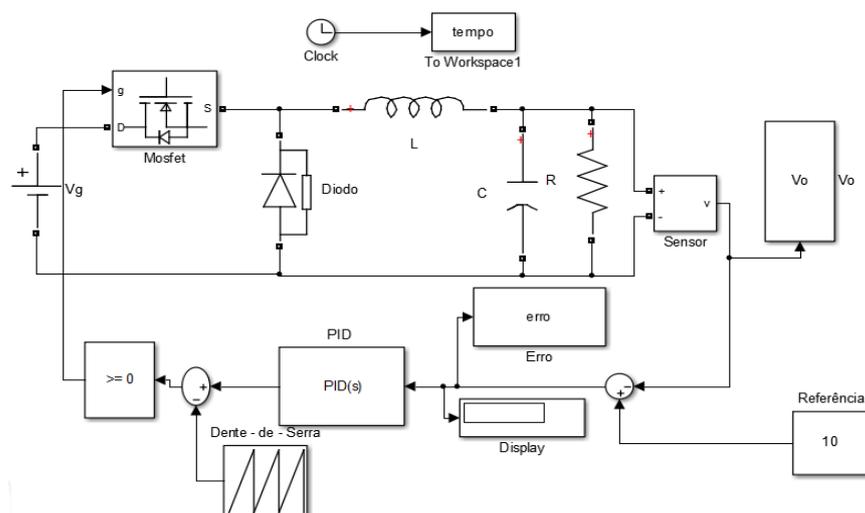


Figura 6 – Circuito simulado para sintonia ótima do controlador PID

A tabela 4 mostra os ganhos obtidos para o controlador PID em cada índice de desempenho:

Índice			
ITSE	2,6976	5840	1,4
ITAE	2,9759	4866,7	2,1
IAE	2,7774	5756,8	1,4
ISE	3,1046	6118,1	9,6

Tabela 4 – Ganhos do controlador PID através da sintonia ótima

Índice	Frequência (kHz)	Margem de Fase (°)
ITSE	3,8	46,5
ITAE	4,75	55,7
IAE	3,82	45,5
ISE	3,59	30,3

Tabela 5 – Frequência de cruzamento e Margem de fase

Com os dados da Tabela 5, verifica-se que apenas o índice ISE não atende às especificações de desempenho propostas, apresentando margem de fase menor que 45°.

A principal aplicação do controlador é como regulador, com a finalidade de rejeitar distúrbios externos, em especial na tensão de entrada e na impedância de carga. Aplicou-se perturbações no circuito da Figura 6 e observou-se as respostas do sistema sintonizado através dos índices de desempenho e do PID clássico para as perturbações.

A resposta do sistema a perturbação de 50% na carga é mostrada na Figura 7.

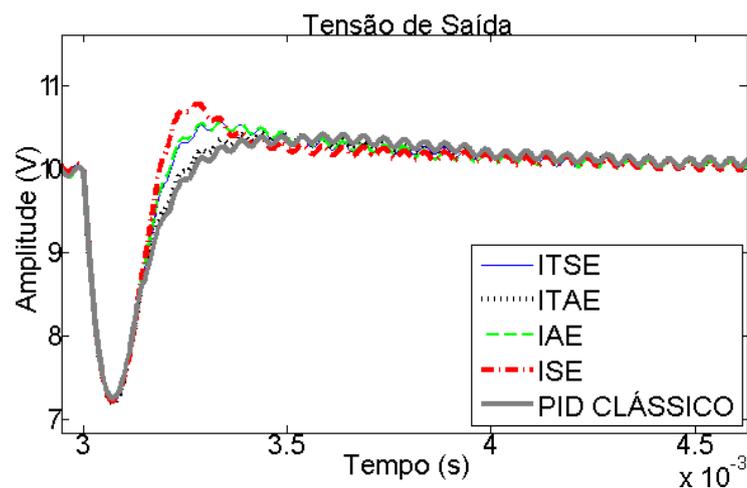


Figura 7 – Resposta à perturbação na carga

A Figura 7 mostra que o controlador sintonizado através dos índices de desempenho rejeita a perturbação na carga mais rapidamente que o PID clássico, porque os índices visam minimizar o erro o mais rápido possível dentro das suas características. Neste caso, o sistema sintonizado pelo índice ISE apresentou uma

rejeição ao distúrbio mais rápida e o sistema sintonizado pelo índice ITAE apresentou a resposta mais lenta.

Aplicou-se também uma perturbação na tensão de entrada reduzindo-a em 40%. A Figura 8 mostra a resposta do sistema:

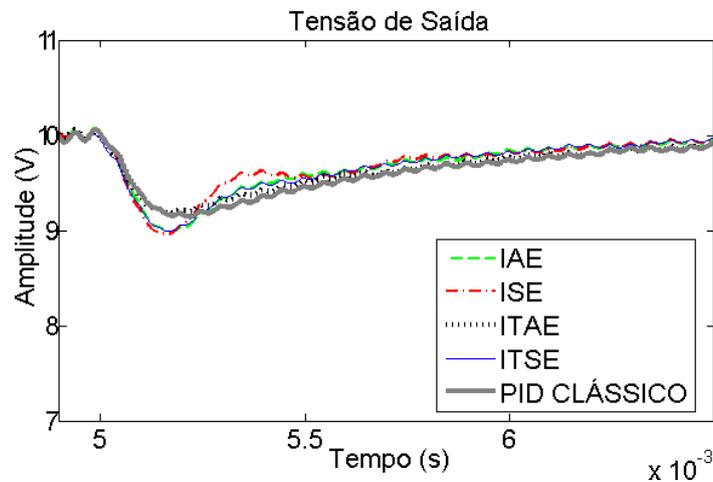


Figura 8 – Resposta à uma perturbação na entrada

Novamente, o controlador sintonizado através dos índices de desempenho de erro rejeita o distúrbio mais rapidamente que o PID clássico, o índice ISE apresentou a resposta mais rápida e o índice ITAE apresentou resposta mais lenta, os demais índices também apresentaram respostas satisfatórias.

Asintonia do controlador PID através dos índices de desempenho de erro mostrou-se uma técnica eficaz e com melhores resultados que o PID clássico na rejeição dos distúrbios aplicados ao conversor. Outra vantagem da utilização dos índices é a possibilidade de aplicação direto na planta física, sem necessitar do modelo do sistema para a obtenção dos ganhos ótimos do controlador. Com apenas uma sintonia manual do controlador que forneça uma resposta próxima da desejada, o algoritmo se baseia nestes parâmetros e retorna os ganhos ótimos do controlador através da resposta real da planta.

## 6 | CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposta a sintonia ótima do controlador PID através dos índices de desempenho de erro aplicado ao conversor CC-CC *buck*. As vantagens de se utilizar este método se dá pela possibilidade de aplicação diretamente na planta do circuito, conhecendo-se apenas a resposta do sistema, sem necessidade de conhecimento do modelo matemático. Esta característica se faz uma vantagem interessante pois pode ser aplicada a qualquer sistema em que possa ser feita uma comunicação com um sistema embarcado para realização das simulações diretamente na planta. As outras vantagens se dão pela rápida rejeição aos distúrbios aplicados, mostrando-se mais

eficiente que o controlador PID clássico e apesar de ser uma estratégia ótima, é de simples implementação, tornando viável sua aplicação.

## REFERÊNCIAS

AHMED, Ashfaq. **Eletrônica de Potência**. 1. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2000.

BARBI, Ivo. **Projeto de Fontes Chaveadas**. 2. ed. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

DORF, Richard. C.; BISHOP, Robert. H. **Sistemas de Controle Modernos**. 8ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2001.

ERICKSON, Robert. W.; MAKSIMOVIC, Dragan. **Fundamentals of Power Electronics**. 2. ed. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2001.

FERMINO, Fernando; UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola de Engenharia de São Carlos. **Estudo Comparativo de Métodos de Sintonia de Controladores PID**, 2014. 82p, il. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em sistemas de controle e automação).

SILVA, Flavio. T; UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO, Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação. **Simulated Annealing aplicado ao Problema de Sintonia de Parâmetros de Controladores PID**, 2005. 61p, il. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação).

## APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DO CAROÇO DE AZEITONA PARA A PRODUÇÃO DE TIJOLO SOLO-CIMENTO

### **Luíza Silveira Cabral**

Discente do curso de Engenharia Química na Universidade de Vassouras, Vassouras- RJ, Brasil

### **Manoela Silva Lima Mariotini Carotta**

Discente do curso de Engenharia Química na Universidade de Vassouras, Vassouras- RJ

### **Érica Vieira Barbosa**

Docente em Ciências Biológicas, Universidade de Vassouras, Vassouras-RJ

### **Juliana Fusco Pachani dos Santos**

Mestre em Engenharia de Biosistemas, Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro- RJ

### **Ana Carla Pinheiro Lima**

Doutorado em Fitotecnia (Microbiologia do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

### **Cristiane de Souza Siqueira Pereira**

Docente no Programa de Mestrado Profissional em Ciências Ambientais e no Curso de Engenharia Química, Universidade de Vassouras, Vassouras- RJ

**RESUMO:** Com o crescente avanço da construção civil, novas metodologias para a produção de materiais vem se desenvolvendo, buscando a incorporação de diferentes resíduos no setor construtivo. Essa prática é de suma importância para o desenvolvimento de soluções sustentáveis. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a incorporação do caroço

de azeitona na produção de tijolo solo-cimento. Esse resíduo é constituído por células lignificadas e de parede celular espessa que formam uma capa que envolve células parenquimatosas de parede celular fina. A metodologia utilizada seguiu parâmetros estabelecidos pela NBR 10833:2013/ABNT, que versa sobre a fabricação de tijolos e blocos de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica. Para a produção do tijolo solo-cimento, utilizou-se como matéria-prima solo residual, cimento e água para um traço de 9:1:2 respectivamente. Para a produção dos tijolos, substituiu-se 10% do solo pelo resíduo do caroço de azeitona. Estes foram produzidos em prensa manual e curados com água potável durante 7, 14, 21 e 28 dias. Posteriormente, foram realizados ensaios de resistência à compressão e teste de absorção de água de acordo com a NBR 8492:2012/ABNT que versa que a resistência individual de cada corpo de prova deve ser  $\leq 1,7$  Mpa. Desta forma, após os testes, verificou-se que o tijolo solo-cimento composto do resíduo de caroço de azeitona obteve resultados satisfatórios, pois, a resistência média dos dias de tempo de cura, atenderam assim as especificações da NBR proposta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Construção Civil; Biomassa; Bloco de cimento.

**ABSTRACT:** Due to the growth in civil

construction, new methodologies for material production have been developed, aiming at blending different recycled waste in the area. This practice is effectively important for sustainable solutions. Thus, this present research aimed at evaluating the incorporation of olive core to the production of only-trial brick. This waste is constituted of lignin cells and a thick wall cell that form a cover that involves thin-wall parenchymal cells. The method followed the parameters established by the NBR 10833:2013/ABNT, which talks about the only-trial brick and block production using the manual or hydraulic press. In order to produce the only-trial brick the matters used were waste soil, cement and water on a trace of 9:1:2 respectively. For the brick production 10% of the waste soil was substituted by the olive core waste. These were pressed manually and sitted in potable water for 7, 14, 21 and 28 days. Later, compression and resistance tests were applied as well as water absorption tests according to the NBR 8492:2012/ABNT which states that the individual resistance of each piece should be  $\leq 1,7$  Mpa. This way, after the tests, it was verified that the olive core only-trial composed brick contained satisfactory results, because the average resistance after the sitting days reached the proposed NBR specifications.

**KEYWORDS:** civil construction, biomass, cement brick

## 1 | INTRODUÇÃO

Devido ao aumento dos impactos ambientais acometidos pelo crescimento das indústrias, são necessárias novas tecnologias sustentáveis que visam a redução desta problemática ambiental. Atendendo essa demanda a construção civil pesquisa por técnicas que visam a produção de novos materiais.

O desenvolvimento de biomateriais no setor construtivo vem ganhando notoriedade no campo sustentável e com isso a ideia de aproveitar os resíduos de caroço de azeitona na produção de tijolo solo-cimento torna-se uma metodologia alternativa importante no que se diz respeito ao meio ambiente.

Conforme citado por Chimatti (2012) o caroço de azeitona é constituído por células lignificadas e por uma parede celular espessa que formam uma capa que envolve células parenquimatosas de parede celular fina.

Segundo Quesada (2016) a análise química do caroço evidencia a composição formada principalmente por celulose (33,42%), lignina (22,61%), hemicelulose (15,12%), gorduras (3,47%) e pequena quantidade de cinzas (2,41%).

O resíduo apresenta alta densidade, umidade média de 15% e um potencial calorífico de 4500 Kcal/Kg (base seca). Sua estrutura é composta em sua maioria por potássio (K), cálcio (Ca) e silício (Si), além de conter pequenas quantidades de carbono (11,6%), hidrogênio (0,40%) e nitrogênio (0,012%). As substâncias mais abundantes na matéria prima se apresentam em forma de óxidos, configurando mais de 55% em peso de  $K_2O$ ,  $CaO$  e  $SiO_2$  no total (AREZKI, 2016).

Os processos de descaroçamento das azeitonas geram aproximadamente

123.500,00 kg/mês do resíduo. Atualmente, a indústria de processamento de azeitona reaproveita apenas 40% do caroço gerado para queima na caldeira, o restante deste material vira resíduo. Com isso é de extrema importância que sejam desenvolvidos subprodutos para a utilização do mesmo, evitando assim, o descarte deste material no ambiente (SILVA, 2018, p.2).

A incorporação dos resíduos industriais na construção civil vem crescendo nos últimos anos, podendo ser utilizadas na produção de concretos, telhas e tijolos solo-cimento. O tijolo solo-cimento, material cujo volume não é inferior a 85% de seu volume total aparente, é constituído basicamente por uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento e água. Pode-se acrescentar que, o tijolo de solo cimento possui matéria-prima abundante por se tratar da terra crua. Ainda deve-se ressaltar que o produto não precisa ser queimado, o que proporciona economia de energia, além de proporcionar ambientes confortáveis com pouco gasto energético, permitindo conforto térmico e acústico, pelo fato de possuir características isolantes (DO VAL, 2018, p.2).

Assim, esse estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade da incorporação de resíduos sólidos do descaroçamento das azeitonas, na produção de tijolo solo-cimento, visando a redução dos impactos ambientais além de proporcionar uma alternativa adequada para o destino final desses resíduos.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para o processo de produção do tijolo solo-cimento, foi utilizada amostra de solo argiloso, coletado no distrito de Santanésia, município de Piraí/RJ. Os testes granulométricos foram realizados seguindo a NBR 10833:2013, na qual 100% do solo necessita passar por uma peneira de granulometria 4,80 mm (nº 4) e 10% à 50% deve passar pela peneira de 0,075 mm (nº 200).

O caroço de azeitona foi cedido pela indústria Antares do município de Três Rios/RJ. O resíduo é proveniente do processo de descaroçamento das azeitonas de mesa, e corresponde a grande parte dos resíduos gerados pela indústria. O caroço foi triturado em moinho de facas na Embrapa Solos/RJ. Após testes granulométricos padronizou-se o resíduo a uma granulometria de 1,18mm.

Utilizou-se o Cimento Portland de alto-forno (CP III-40), de acordo com a NBR 5735:1991 que fixa as condições no recebimento do cimento Portland com escória de alto-forno siderúrgico (CP III – 40 Rs). Esse cimento quando em contato com a água, reage apresentando um alto teor de resistência mecânica e endurecimento da mistura. Isso ocorre devido a presença dos seus componentes silicatos de cálcio e escória.

Para a produção de tijolo solo-cimento, foi utilizado um traço volumétrico de 9:1:2 de solo residual (Figura 1A), cimento e água. Para composição da mistura, 10% do solo argiloso foi substituído pelo resíduo do caroço de azeitona triturado. Misturou-se o solo argiloso, o resíduo do caroço de azeitona e cimento (Figura 1B). Em seguida,

adicionou-se água até que a massa (Figura 1C) fosse moldada com facilidade.



Figura 1. Sequência da mistura dos componentes do tijolo solo-cimento (A) Solo argiloso + Resíduo do caroço de azeitona (B) Solo argiloso + Resíduo do caroço de azeitona+ Cimento (C) Solo argiloso + Resíduo do caroço de azeitona+ Cimento+ Água

Fonte: Autora, 2018

A prensagem dos tijolos foi feita com o auxílio de uma prensa manual da marca Sahara (Figura 4), seguindo a NBR 10833:2013, que versa sobre a fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica.



Figura 2. Prensa manual para a produção de tijolos

Fonte: Blog do Tijolo Ecológico (2013) adaptada

A mistura foi transferida para a prensa manual onde realizou-se a prensagem (Figura 5), obtendo assim o tijolo solo-cimento. Após esta etapa, retirou-se o tijolo solo-cimento (Figura 6) da prensa e o mesmo foi disposto sobre uma superfície plana, em temperatura ambiente, por um período de 28 dias.



Figura 3. Tijolo solo-cimento após sua prensagem

Fonte: Autora, 2018



Figura 4. Tijolos prensados

Fonte: Autora, 2018

Após o procedimento de moldagem dos tijolos, os mesmos passaram por um período de cura, sendo intensamente molhados nas primeiras 6 horas e durante os primeiros 7 dias. O período de cura foi realizado com 14, 21 e 28. De acordo com a NBR 10833:2013, os tijolos só podem ser utilizados após 14 dias de fabricação.

Após os 7 dias, verificou-se o aparecimento de fungos no tijolo solo-cimento (Figura 7). Por essa razão, foram realizados testes microbiológicos nos corpos de prova.



Figura 5. Presença de fungos nos corpos de prova

Fonte: Autora, 2018

Para a realização do teste microbiológico, foram utilizados os meios de cultura *Ágar Sabourad* e *Ágar Mycosel*. Esses meios são comumente utilizados para o isolamento de fungos patogênicos. Sendo assim, as amostras de solo argiloso e do caroço de azeitona foram dissolvidas em uma solução salina (0,85%), semeadas

em placa de petri onde continha o meio de cultura. Em seguida, essas placas foram colocadas na estufa à 37°C, para ver se ocorria a proliferação de microrganismos. Na técnica utilizada para visualização morfométrica do fungo, utilizou-se a adição do azul de algodão e clarificante KOH a 10%.

Após ensaio microbiológico, novos testes de resistência a compressão foram realizados, de acordo com a NBR 8492:2012/ABNT.

Para o teste de resistência, os tijolos que passaram pelos períodos de cura de 7, 14, 21 e 28 dias foram submetidos a compressão seguindo os critérios da NBR 492:2012/ABNT. Nesse teste foi utilizada uma prensa hidráulica (Figura 6) com capacidade total de 80 MPa, onde a compressão seria cessada ao decair 20% de sua resistência inicial.



Figura 6. Tijolo antes do teste de compressão

Fonte: Autora, 2018

Para a realização do teste de absorção de água, seguiu-se a NBR 8492:2012/ABNT que retrata a análise dimensional, determinação de resistência à compressão e absorção de água. Nesse teste, os tijolos foram acondicionados em uma estufa (Figura 7) entre às temperaturas de 105 °C e 110 °C e em seguida determinou-se a umidade dos corpos de prova.



Figura 7. Tijolos sendo secos na estufa

Fonte: Autora, 2018

Ao terminar essa etapa, os corpos de prova foram submersos em um recipiente com água (Figura 8) por 24 horas e determinada a % de absorção de água pelos corpos de prova. Esse cálculo foi feito depois de retirada, secagem superficial e pesagem dos tijolos (Figura 9).



Figura 8. Tijolos submersos em água

Fonte: Autora, 2018



Figura 9. Tijolos molhados sendo pesados

Fonte: Autora, 2018

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Decorridos 7 dias, verificou-se o surgimento de fungos, vistos macroscopicamente (Figura 10 A e 10 B) nas placas referentes às amostras de solos argilosos. As amostras referentes à Figura 11 A e 11B foram analisadas através de um microscópio, onde foi observado filamentos septados (hifas) e alguns conídios com características semelhantes a fungos ambientais, comumente encontrados no solo, ar e água chamados *Geotrichum sp* e conidióforos *Aspergillus niger*. No entanto, são necessários estudos mais aprofundados para identificação desses microrganismos, para que não ocorra proliferação destes na produção do tijolo solo-cimento.

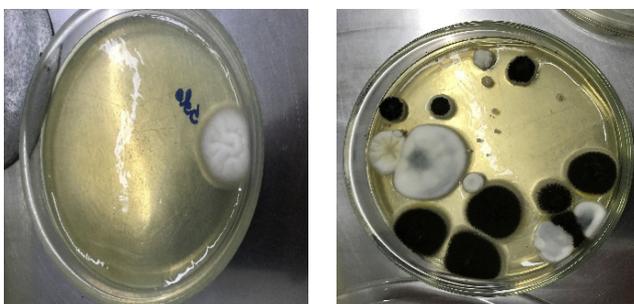


Figura 10. Fungo presente na amostra de solo inoculado no meio de cultura vistos macroscopicamente (A) Ágar Mycosel (B) Ágar Sabourad.

Fonte: Autora, 2018

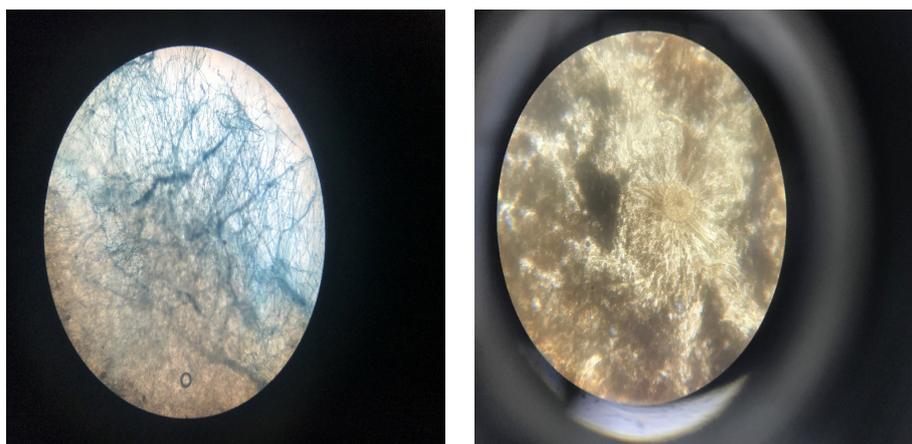


Figura 11. Morfologia dos fungos vistos microscopicamente (A) Ágar Mycosel (B) Ágar Sabourad.

Fonte: Autora, 2018

Sendo assim, foi realizada a esterilização do solo argiloso em uma autoclave com o objetivo de interromper o proliferamento dos fungos presentes no tijolo solo-cimento. Esse método teve intuito de interromper o crescimento dos fungos presentes no tijolo solo-cimento. Entretanto, ao realizar a produção dos corpos de prova, os

tijolos apresentaram os mesmos microrganismos após 7 dias (Figura 12), mostrando que o método da esterilização não é eficaz para isso.



Figura 12. Tijolos com surgimento de fungos após 7 dias

Fonte: Autora, 2018

Os resultados dos ensaios de resistência mecânica a compressão estão discriminados na Tabela 1.

Tijolo solo-cimento com resíduo (10%)	
Tempo de cura (dias)	Resistência Média (MPa)
7	2,03 ± 0,92
14	2,53 ± 0,42
21	2,33 ± 0,60
28	3,06 ± 0,42

Tabela 1. Resultados do ensaio a resistência a compressão

Fonte: Autora, 2018

De acordo com os resultados, verificou-se que os tijolos solo-cimento (Figura 13) com adição de caroço de azeitona apresentaram resultados de resistência a compressão acima de 1,7 MPa, o que configura uma resistência aceitável de acordo com a norma NBR 8492:2012/ABNT. Esse regulamento cita que a resistência individual de cada corpo de prova deve ser  $\leq 1,7$  MPa para que o tijolo possa ser usado em construções.



Figura 13. Tijolo depois do teste de compressão

Fonte: Autora, 2018

Após o teste de resistência a compressão, o ensaio de absorção foi realizado após os tempos de cura de 7 e 28 dias, atendendo a NBR 8492:2012/ABNT. Essa norma definiu que a absorção máxima individual do tijolo solo-cimento deve ser  $\geq 22\%$  e

que absorção média deve ser  $\geq 20\%$ . A % de absorção de água (Tabela 2) é obtida pela seguinte equação:

$$A = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

Tijolo solo-cimento com resíduo (10%)	
Tempo de cura (dias)	Absorção média (%)
7	19,6 ± 3,32
28	19,9 ± 3,66

Tabela 2 - Resultado do ensaio de absorção de água para o tijolo solo-cimento

Fonte: Autora, 2018

Assim, os resultados dos testes de absorção foram satisfatórios, pois à capacidade de retenção de água nos tijolos individuais não ultrapassaram os 22% e os 20% de umidade. Esses resultados estão de acordo com a NBR 8492:2012/ABNT.

#### 4 | CONCLUSÃO

Os estudos concluídos até o momento demonstram que os resultados dos testes de compressão e absorção de água do tijolo solo-cimento com a incorporação do resíduo de biomassa de azeitona atenderam as especificações da NBR 8491:2012/ABNT. Deste modo, apesar do surgimento de fungos nos tijolos solo-cimento, essa técnica de fabricação se torna viável quando analisada a partir dos testes feitos, uma vez que o crescimento de microrganismos não alterou a resistência e a absorção do tijolo produzido. Assim, a metodologia proposta para produção do tijolo solo-cimento com a incorporação do caroço de azeitona torna-se uma alternativa atrativa para redução dos impactos ambientais, principalmente por parte da empresa que não reaproveita totalmente este resíduo. No entanto, são necessários estudos mais aprofundados para identificação dos microrganismos, para que não ocorra proliferação destes na produção do tijolo solo-cimento.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Vassouras, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro – FAPERJ pela bolsa de iniciação científica, e a indústria Antares, Três Rios/RJ, por ter gentilmente cedido o resíduo.

#### REFERÊNCIAS

Arezki, S.; Chelouah, N.; Tahakourt, A. **The effect of the addition of ground olive stones on the**

**physical and mechanical properties of clay bricks.** Materiales de Construcción, v. 66, n. 322, p. 082, 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. 2013. “**NBR 10833 – Fabricação de tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica – Procedimento**”, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. 2012. “**NBR 8491 – Tijolo de solo-cimento – Requisitos**”, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. 1991. “**NBR 5735 – Analisa as condições no recebimento do cimento Portlan de alto-forno (CP III ), de classes 25, 32 e 40**”, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT. 2012. “**NBR 8492 – Tijolo de solo-cimento. Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água – Método de ensaio**”, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Chimatti, W. **Fabricação de subprodutos gerados a partir do resíduo do processo de descaroçamento e seleção de azeitonas brutas. Trabalho de Conclusão do Curso de Química Industrial.** Universidade Severino Sombra, Vassouras-RJ, 2012.

DO VAL, G. P.; LEITE, J. M. C.; DORNELLAS, R. L.; DE SOUZA, A. B.; PEREIRA, C.S.S. Santos, M.L. – “**Produção de tijolos utilizando resíduo da produção de biodiesel de soja**” – Congresso Luso-Brasileiro Materiais de Construção Sustentáveis, Coimbra/Portugal, 2018.

Grande, F. M., 2003. “**Fabricação de Tijolos Modulares de Solo-cimento por Prensagem Manual com e sem Adição de Sílica Ativa**”. Tese (Mestrado em Arquitetura), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, SP, Brasil.

Pisani, M. A. J. 2005. “**Um material de construção de baixo impacto ambiental: o tijolo de solo-cimento**”, SINERGIA, v.6, n.1, São Paulo, SP, Brasil.

QUESADA, D.Eliche, SESÉ, M.A.Felipe, MOLINA, A.Infantes. **Olive Stone Ash as Secondary Raw Material for Fired Clay Bricks.** Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering Volume 2016, Article ID 8219437, 9 pages.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Luís Fernando Paulista Cotian**, atualmente é professor magistério superior substituto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR câmpus Guarapuava. Formado em Engenharia de Produção pela Universidade de Franca – SP. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa, linha de pesquisa Engenharia Organizacional e Redes de Empresas - EORE. Doutorando em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná campus Ponta Grossa, linha de pesquisa Otimização e Tomada de Decisão, com previsão de conclusão 2021.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-085-8

