

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Estudos (Inter)
Multidisciplinares
nas Engenharias 2

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Estudos (Inter) Multidisciplinares nas
Engenharias
2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Geraldo Alves
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
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. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	<p>Estudos (inter) multidisciplinares nas engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-701-7 DOI 10.22533/at.ed.017190910</p> <p>1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. I. Silva, Helenton Carlos da.</p> <p style="text-align: right;">CDD 658.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Estudos (Inter) Multidisciplinares nas Engenharias*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 21 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias.

O processo de aprendizagem, hoje em dia, é baseado em um dinamismo de ações condizentes com a dinâmica do mundo em que vivemos, pois a rapidez com que o mundo vem evoluindo tem como chave mestra a velocidade de transmissão das informações.

A engenharia praticada nos dias de hoje é formada por conceitos amplos e as situações a que os profissionais são submetidos mostram que esta onda crescente de tecnologia não denota a necessidade apenas dos conceitos técnicos aprendidos nas escolas.

Desta forma, os engenheiros devem, além de possuir um bom domínio técnico da sua área de formação, possuir domínio também dos conhecimentos multidisciplinares, além de serem portadores de uma visão globalizada.

Este perfil é essencial para o engenheiro atual, e deve ser construído na etapa de sua formação com o desafio de melhorar tais características.

Dentro deste contexto podemos destacar que uma equipe multidisciplinar pode ser definida como um conjunto de profissionais de diferentes disciplinas que trabalham para um objetivo comum.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados aos estudos da (inter) multidisciplinaridade nas engenharias, com destaque mais diversas engenharias e seus temas de estudos.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DO DESEMPENHO DE CONCRETO DESENVOLVIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS/SP	
Tatiane Caroline Rocha Lemos Eduvaldo Paulo Sichieri Victor José dos Santos Baldan	
DOI 10.22533/at.ed.0171909101	
CAPÍTULO 2	13
ESTUDO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA A PARTIR DE RESÍDUO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE PNEUS	
Tatiane Caroline Rocha Lemos Eduvaldo Paulo Sichieri Victor José dos Santos Baldan	
DOI 10.22533/at.ed.0171909102	
CAPÍTULO 3	25
ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA DA MADEIRA: UMIDADE, DENSIDADE APARENTE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELAS ÀS FIBRAS DAS ESPÉCIES COMERCIALIZADAS NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-RR	
Weiza Nunes Barbosa Emerson Lopes de Amorim Luiz Gustavo Ayres Barros Kellen de Souza Singh Lucas Matos de Souza José Castro Lima	
DOI 10.22533/at.ed.0171909103	
CAPÍTULO 4	37
ANÁLISE DOS EFEITOS DA VAZÃO MÁSSICA SOBRE A DEPOSIÇÃO DE INCRUSTAÇÕES EM AQUECEDORES DE LEITE DO TIPO PLACAS PLANAS GAXETADAS	
Alex Vazzoler	
DOI 10.22533/at.ed.0171909104	
CAPÍTULO 5	47
AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FARINHA DE MANDIOCA (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) EM COMUNIDADE TRADICIONAL DO MUNICÍPIO DE MACAPÁ-AP E POSSÍVEIS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS	
Roberto Quaresma Santana Lia Carla de Souza Rodrigues Jorge Emílio Henriques Gomes Marília de Almeida Cavalcante	
DOI 10.22533/at.ed.0171909105	
CAPÍTULO 6	55
AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE MACROTEXTURA E DRENABILIDADE EM DUAS PISTAS DE POUSO NA REGIÃO DO VALE DO ARAGUAIA	
Thamires Ferreira da Silva	

Lucas Jorge Freitas Marinho
Augusto Romanini
Raul Tadeu Lobato Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.0171909106

CAPÍTULO 7 69

COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DE GELATINAS OBTIDAS A PARTIR DAS PELES DE MAPARÁ (*Hypophthalmidae*) E URITINGA (*Arius Proops*)

Élida Viana de Souza
Jiullie Delany Bastos Monteiro
Nara Helem Brazão da Costa
Leliane da Silveira Barbosa Gomes
Iara Eleni de Souza Pereira

DOI 10.22533/at.ed.0171909107

CAPÍTULO 8 77

CONTROLE ESTRUTURAL DO DEPÓSITO PLACER DE MINERAIS PESADOS NA REGIÃO PRAIAL AO NORTE DA DESEMBOCADURA DA LAGOA DOS PATOS (BUJURU, BRASIL)

Bruno Silva da Fontoura
Adelir José Strieder
Jéssica Stern Behling
Rui Sérgio Saraiva Duarte Junior
Talita Cabelera da Silva
Paulo Mendes
Aureliano Augusto Vieira da Nóbrega
Lauro Julio Calliari

DOI 10.22533/at.ed.0171909108

CAPÍTULO 9 87

ESTRUTURA FÍSICA E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA A RELUTÂNCIA VARIÁVEL PAUTADO EM PROTÓTIPO 8/6

Marcos José de Moraes Filho
Luciano Coutinho Gomes
Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira
Darizon Alves de Andrade
Josemar Alves dos Santos Junior
Wanberton Gabriel de Souza

DOI 10.22533/at.ed.0171909109

CAPÍTULO 10 99

VARIAÇÃO DA PERDA DE CARGA NA MANGUEIRA EM FUNÇÃO DE SEU ENROLAMENTO

Diogo Henrique Morato de Moraes
Ricardo Marques da Silva Viegas
Dione Monteiro de Moraes
Matheus Henrique Morato de Moraes
Marcio Mesquita

DOI 10.22533/at.ed.01719091010

CAPÍTULO 11 109

ÍNDICE DE DESEMPENHO DE MISTURAS TERNÁRIAS CONTENDO CIMENTO PORTLAND SÍLICA DE CASCA DE ARROZ E NANOSSÍLICA COLOIDAL

Daniel da Silva Andrade
Josué Régio Damaceno
Laércio Breno Moreira
Aline Alves de Almeida
João Henrique da Silva Rêgo

DOI 10.22533/at.ed.01719091011

CAPÍTULO 12 122

LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO E IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE PESQUISAS CIENTÍFICAS NA ÁREA DAS CIÊNCIAS SOCIAIS SOBRE A CANA-DE-AÇÚCAR PARA O SEGMENTO SUCROENERGÉTICO

Manoel Gonçalves Filho
Clóvis Delboni
Reinaldo Gomes da Silva

DOI 10.22533/at.ed.01719091012

CAPÍTULO 13 135

MELHORIA NO PROCESSO DE MONTAGEM ATRAVÉS DA FERRAMENTA POKA YOKE: UM ESTUDO DE CASO NO MCDONALD'S

Jéssika Alvares Coppi Arruda Gayer
Dayse Mendes
Douglas Soares Agostinho
Felipe Martins Machado
Jennifer Evangelista Cavalcante
Kellen Coelho dos Santos
Marcos Augusto Mendes Marques
Marcos Henrique Morais
Renatha Querubina de Anevam
Rodrigo Ramiro Prior

DOI 10.22533/at.ed.01719091013

CAPÍTULO 14 144

MODELAGEM DA DISPERSÃO DE POLUENTES NA ATMOSFERA UTILIZANDO UMA ABORDAGEM ANALÍTICA

Régis Sperotto de Quadros
Glênio Aguiar Gonçalves
Daniela Buske

DOI 10.22533/at.ed.01719091014

CAPÍTULO 15 153

O ÍNDICE DE CONFIABILIDADE PARABÓLICO

Emmanoel Guasti Ferreira
Marcílio Sousa da Rocha Freitas
José Antônio da Rocha Pinto
Geraldo Rossoni Sisquini

DOI 10.22533/at.ed.01719091015

CAPÍTULO 16	168
RE-EVALUATION OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND TOTAL ACID NUMBER ON NAPHTHENIC CORROSION BY ELECTROCHEMICAL NOISE TECHNIQUE	
Ana Carolina Tedeschi Gomes Abrantes Alysson Nunes Diógenes Haroldo de Araújo Ponte	
DOI 10.22533/at.ed.01719091016	
CAPÍTULO 17	179
SLOW-RELEASE FERTILIZER FROM A ROCK CONTAINING GLAUCONITE BY THERMAL PROCESSING WITH ADDITIVES	
Antonio Clareti Pereira Emily Mayer de Andrade Becheleni Marta Ribeiro dos Santos Gomes Sônia Denise Ferreira Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.01719091017	
CAPÍTULO 18	190
UMA INTRODUÇÃO AO USO DA INTEGRAL DE DUHAMEL EM SISTEMAS DINÂMICOS ESTRUTURAIS	
Natan Sian das Neves	
DOI 10.22533/at.ed.01719091018	
CAPÍTULO 19	202
USO DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL NA OTIMIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE ADSORÇÃO COM TURFA PARA REMOÇÃO DA TURBIDEZ DE EFLUENTE OLEOSO	
Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado Francisco Igor da Costa Freire Andréa Francisca Fernandes Barbosa André Luís Novais Mota Kalyanne Keyly Pereira Gomes	
DOI 10.22533/at.ed.01719091019	
CAPÍTULO 20	211
UTILIZAÇÃO DE COBERTURA COMESTÍVEL NA CONSERVAÇÃO DE HORTIFRUITI	
Martiliana Mayani Freire Leoclécio Luis de Paiva Laís Barreto Franco Anna Paula Marques Cardoso Gleison Martins Medeiros Raposo Caliane Lília Leite do Nascimento Pedro Fagner Araújo Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.01719091020	
CAPÍTULO 21	218
MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE CAIXAS COLETORAS DE DRENAGENS URBANAS NA REGIÃO DO PORTO DE PELOTAS/RS	
Marciano Carneiro Milton Cruz Fernandes	

Angélica Cirolini
Alexandre Felipe Bruch
Lenon Silva de Oliveira
Gabriel da Silva Pontes

DOI 10.22533/at.ed.01719091021

SOBRE O ORGANIZADOR.....	232
ÍNDICE REMISSIVO	233

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE CONCRETO DESENVOLVIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO NA CIDADE DE SÃO CARLOS/SP

Tatiane Caroline Rocha Lemos

Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São
Carlos, Universidade de São Paulo
São Carlos - SP

Eduvaldo Paulo Sichieri

Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São
Carlos, Universidade de São Paulo
São Carlos - SP

Victor José dos Santos Baldan

Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São
Carlos, Universidade de São Paulo
São Carlos - SP

RESUMO: A reciclagem dos Resíduos da Construção e Demolição (RCD) é uma forma de aproximar o setor da construção civil da sustentabilidade, uma vez que permite a redução de consumo de novas matérias primas ao mesmo tempo que evita o encaminhamento de resíduos sólidos a aterros. O objetivo dessa pesquisa científica consistiu em analisar a viabilidade de confecção de pisos intertravados de concreto, com espessura de 6 cm, a partir de substituições percentuais de areia natural por areia reciclada. Para isso, foram realizadas visitas periódicas à Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil, onde foram coletadas várias amostras do RCD do município de São Carlos, os quais passaram por ensaios de caracterização física

(distribuição granulométrica, massa unitária, massa específica e índice de inchamento), de acordo com a normatização brasileira. Visitou-se também a Fábrica de Artefatos Reciclados de Cimento de São Carlos e a empresa privada Briquet, onde, a partir de traços de concreto previamente estudados, foram moldados os pisos intertravados analisados, com substituição de areia natural por areia reciclada nas porcentagens de 0 a 100%. Os pisos intertravados foram ensaiados com idades de cura de 7 e 28 dias, com relação a resistência à compressão simples e à absorção de água. Os resultados apontaram para a viabilidade de utilização do RCD como substituto da areia natural, e com isso, espera-se que este trabalho contribua para a produção de artefatos de cimento mais sustentáveis, que possam reduzir o consumo de agregados naturais na indústria da Construção Civil.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto Reciclado, Agregado Artificial, Pisos Intertravados, Sustentabilidade.

PERFORMANCE ANALYSIS OF THE CONCRETE DEVELOPED FROM CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE IN THE CITY OF SÃO CARLOS/SP

ABSTRACT: Recycling of Construction and Demolition Waste (CDW) is a way of bringing

the construction industry closer to sustainability, since it allows the consumption reduction of new raw materials while avoiding the destination of solid waste to landfills. The objective of this scientific research was to analyze the feasibility of producing interlocking concrete floors, with a thickness of 6 cm, from percentage substitutions of natural sand for recycled sand. In order to do this, periodic visits were made to the Recycling Plant for Civil Construction Waste, where several samples of the CDW of the city of São Carlos were collected, which passed through physical characterization tests (particle size distribution, unit mass, specific mass and index of swelling), according to the Brazilian standardization. It was also visited the Recycled Cement Factory of São Carlos and the private company Briquet, where, from previously studied concrete traces, the interlocked floors analyzed were molded, with replacement of natural sand by recycled sand at the percentages of 0 to 100%. The interlocked floors were tested with curing ages of 7 and 28 days, relative to their axial compression strength and water absorption. The results pointed to the feasibility of using CDW as a substitute for natural sand, and with this, it is expected that this work contributes to the production of more sustainable cement artifacts, which may reduce the consumption of natural aggregates in the Civil Construction industry.

KEYWORDS: Recycled Concrete, Artificial Aggregate, Interlocking Concrete Floors, Sustainability.

1 | INTRODUÇÃO

Estudos do IBGE realizados em 2008 mostram que somente 7% dos municípios brasileiros pesquisados possuíam algum sistema de processamento dos Resíduos da Construção e Demolição (RCD). Isso indica a falta de interesse na reciclagem do material, ocasionado, em grande parte, pelos desconhecimento e insegurança com relação à sua utilização. O objetivo dessa pesquisa acadêmica é promover maior divulgação a respeito da utilidade do resíduo na Construção Civil, além de incentivar a criação de mais centrais de processamento de entulho que atuem de forma adequada.

A qualidade das centrais de processamento do RCD é um quesito muito importante na credibilidade do resíduo disponível para o consumidor. Se os processos de triagem, por exemplo, forem mal realizados, existem grandes chances de que materiais prejudiciais não sejam retidos e acabem como participantes no concreto final moldado, podendo prejudicar sua eficiência e oferecer riscos para estruturas civis e pessoas que dela utilizarão. O RCD tem características que variam grandemente ao longo do tempo, já que as fontes do resíduo possuem materiais distintos. Mas esse resíduo é geralmente formado de Bica Corrida, que são advindos de cerâmicas juntamente com os detritos e Materiais Cinza, advindos geralmente dos cimento e concreto reciclados.

2 | REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Unidades Industriais Frequentadas

Segundo dados da Prefeitura de São Carlos (2013), Usina de Reciclagem (URE) foi inaugurada em 2006, em atendimento à resolução nº. 307/2002 do CONAMA. Essa Usina recebe cerca de 200 ton/dia de material de construção ou demolição, dos quais cerca de 100 ton/dia saem da Usina como agregado “separado e padronizado”. A URE recebe todo tipo de resíduo de construção, mas somente recicla: componentes cerâmicos; blocos de concreto; fragmentos de concreto, armado ou não, sem fôrmas; argamassas de cal, de cimento ou mistas, de assentamento ou revestimento; fragmentos de pedra britada e de areia naturais. O primeiro passo do resíduo na usina é a triagem, que tem como principal objetivo retirar materiais não recicláveis da pilha útil. Esses materiais são principalmente polímeros (plásticos de diversas formas), vidros, metais e contaminantes identificáveis a olho nu. Após a triagem, o material vai para a britadeira, onde é quebrado em pedaços menores. Ao sair da britadeira, o material é recolhido e colocado sobre uma peneira com 3 grades, que proporcionam 4 granulometrias diferentes ao resíduo.

A Fábrica de Artefatos Reciclados (FAC), está localizada adjacente à URE em São Carlos. A produção das peças de concreto é sazonal, a depender da demanda da Prefeitura de São Carlos, sendo algumas delas os pisos intertravados, as canaletas e os blocos estruturais de dois furos. A mão de obra é composta majoritariamente por reeducandos da penitenciária "Dr. Antonio de Queiroz Filho" de Itirapina/SP e já chegaram a ser produzidos cerca de 48 mil pisos intertravados por dia.

Foi necessário procurar uma empresa privada para servir de parceira nas pesquisas com objetivo de testar a linha de produção da FAC e buscar possíveis erros ou inadequações no processo da moldagem dos pisos intertravados que pudessem acarretar na ineficiência das peças. Assim foi escolhida a empresa “Briquet Indústria e Comércio de Artefatos de Cimento Ltda”, localizada às margens da rodovia Eng. Thales de Lorena Peixoto Júnior em São Carlos – SP. A qualidade do processo produtivo dessa empresa Briquet é elevada, e um dos seus pontos mais diferenciados é a mecanização do processo de dosagem, transporte, mistura e prensagem das peças de concreto.

2.2 Concreto

O Cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido a partir da clinquerização da mistura de calcário e argila, nas devidas proporções (CESAR, 2008). A partir da inserção água ao pó de cimento, esse sofre uma reação de hidratação, que culmina no endurecimento desse material, chamada cura do cimento. Devido ao elevado custo desse material puro, sua utilização com agregados é mais comum, sendo que quando se utilizam agregados miúdos e graúdos denomina-se de concreto a massa formada.

Mas é necessário avaliar a interação desse agregado ao concreto de maneira que se consiga satisfatória resistência mecânica, aferida através de ensaios de resistência à compressão simples e adequada durabilidade, que tem relação com o índice de absorção de água.

Especificamente para o cálculo da resistência nos pisos intertravados, a norma ABNT NBR 9780:1987 se utiliza da formulação apresentada a seguir, em que se define um termo 'p', dependente da altura nominal da peça, que é um fator multiplicativo da resistência à compressão. Para os pisos intertravados de 6cm de altura, que são objetos de estudo da pesquisa, esse fator é 0,95.

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2} \cdot p$$

Sendo: f_c - Resistência á compressão [MPa]; F - Força máxima alcançada [N]; D - diâmetro do corpo de prova [mm]; p - fator multiplicativo (0,95).

Segundo a norma ABNT NBR 9781:1987, as resistências à compressão possibilitam o enquadramento dos blocos em diferentes classes. Para pavimentação de áreas para pedestres é necessária resistência mecânica mínima de 25MPa, para pistas de carros são necessários ao menos 35MPa e para tráfego de caminhões é requisitado, no mínimo, resistência de 50MPa.

Com relação ao índice de absorção de água, Mehta (1994) define que esse índice é útil na determinação da durabilidade da peça reduzida pela degradação por umidade. Para absorção de água menor que 4,2%, as peças são consideradas de concreto durável; caso esse parâmetro seja maior que 6,3%, considera-se o concreto deficiente; no interim, considera-se concreto normal.

2.3 Caracterização do Agregado

A norma ABNT NBR 9935:2011 define o agregado reciclado de resíduo da construção civil como “material granular obtido de processo de beneficiamento de resíduos de construção ou demolição da construção civil, previamente triados e pertencentes à Classe ‘A’ segundo a ABNT NBR 15116: 2004” (ABNT NBR 9935, 2011, p. 2). No entanto durante pesquisas realizadas nas normas brasileiras, ABNT e do Mercosul, percebeu-se que há pouco material regulatório a respeito de agregados reciclados, com isso os estudos das características dos agregados foram realizados considerando os parâmetros normativos para materiais naturais.

O agregado na composição do concreto deve ter características adequadas para que as resistência e durabilidade do cimento não sejam afetadas na mistura. Para verificar as características físicas do agregado foram feitos os ensaios de massa unitária, composição granulométrica, massa específica e índice de inchamento. A granulometria é uma característica importante dos agregados, já que classifica o

material estudado quanto aos tamanhos de seus grãos e a distribuição em que eles ocorrem, o que possibilita a escolha do uso ao qual será destinado. Para o material em questão, coletado como sendo da granulometria mais fina disponível na URE, a classificação almejada é em ‘agregado miúdo’, que é o “agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75mm” (ABNT NBR 7211, 2009, p. 3). Aferir a massa unitária de um agregado é uma tarefa vital na determinação das características de peso do concreto final. Como o objetivo dessa pesquisa é criar blocos e pisos intertravados de concreto comum almeja-se que o agregado seja de massa unitária normal, com valores de 1 a 2kg/dm³. A massa específica é “a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis” (ABNT NBR NM 52, 2002, p.1). Aferir a massa específica tem importância semelhante de aferir sua massa unitária, sendo um resultado complementar. Enfim, para o índice de inchamento de agregado miúdo, a norma ABNT NBR 6467:2006 é referência, sendo possível também determinar a umidade crítica, ponto acima do qual pode-se considerar o coeficiente de inchamento constante. Conhecendo-se esses dados, pode-se optar por normalizar a umidade do agregado com relação à sua umidade crítica, o que torna a elaboração do traço algo mais fácil e constante ao longo dos dias e umidades ambientais diferentes.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Os agregados reciclados utilizados nessa pesquisa foram colhidos na URE. Foram realizadas as moldagens de pisos intertravados na FAC e na Briquet, sendo utilizados os maquinários e matérias primas das respectivas fábricas (água, areia natural, pedrisco natural e cimento CP5-ARI). Na FAC foram moldados pisos em 11 traços, equivalentes a substituições de 0% a 100% da areia natural pela reciclada, em outubro de 2012; já na fábrica Briquet foram moldados pisos em 6 traços, equivalentes a substituições de 0% a 40% da areia natural pela reciclada, em maio de 2013. Todos os pisos intertravados com substituição de areia reciclada (com exceção do traço 0% moldado na Briquet, para o qual é usada fórmula da própria empresa) são feitos a partir traço utilizado pela FAC na época do segundo semestre de 2012: 10Kg cimento - 17,5Kg de pedrisco natural - 47,5Kg de areia - 1,50L de água.

Considerando um primeiro momento da pesquisa, o foco foi realizar o entendimento do material reciclado, fazendo os testes de caracterização dos agregados recolhidos na URE. Os testes consistiram na análise da massa unitária, distribuição granulométrica, índice de inchamento, teste de massa específica. Com relação à análise granulométrica, de acordo com a ABNT NBR NM 248, foram usadas duas amostras de 300g, sendo lançado mão do quarteador de amostras. Após a pesagem, as amostras foram despejadas, uma por vez, no conjunto de peneiras e levadas à máquina peneiradora mecânica por cerca de 15 minutos, para que todo o material fosse bem agitado e distribuído. Logo após, o material foi retirado de cada

peneira e pesado separadamente por peneira, de acordo com a ABNT NBR NM 248, a fim de se obter a distribuição de granulometria. Para o ensaio de Massa Unitária, um recipiente cúbico com capacidade de 15L foi enchido cuidadosamente de agregado duas vezes. Após já ter tarado a balança com o peso do recipiente, foi pesado o conjunto.

Ainda caracterizando os agregados foi feito ensaio de inchamento, de acordo com a norma ABNT NBR 6467:2006. Utiliza-se volume fixo de cilindro conhecido e mede-se a massa de material para o material seco e considerando os teores de umidade de 0,5% a 12%, sendo que pode-se calcular o índice de inchamento com a formulação a seguir. Com os valores de índice de inchamento em mãos é necessário traçar o gráfico “Coeficiente de inchamento versus umidade” e caso se identifique pico na curva, pode-se descobrir a umidade crítica de uma amostra.

$$I = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \cdot \frac{(100 + h)}{100}$$

Sendo: I = coeficiente de inchamento; γ_s = massa unitária do agregado seco em estufa; γ_h = massa unitária do agregado com determinado teor de umidade; h = teor de umidade da amostra.

Para determinação da massa específica do agregado é utilizado o método do Frasco de Chapman normatizado pela ABNT NBR 9776:1987. Foi necessário preencher o frasco de Chapman até a marca de 200mL, com água limpa, sendo adicionada a areia reciclada seca em estufa ao frasco, de forma que ao fim toda areia esteja imersa em água, sem bolhas. O ensaio deve ser repetido duas vezes, sendo que a massa específica obtida em ambos não deve diferir em mais de 0,05 g/cm³.

O próximo passo foi realizar a moldagem das peças de pisos intertravados. Na FAC o processo produtivo já estava adaptado à substituição de agregado reciclado na massa de concreto, no entanto, como o sistema de dosagem de agregados da empresa Briquet é completamente automatizado, foi necessário despejar a areia reciclada na esteira transportadora de agregados quando essa estivesse em movimento. Posteriormente foram analisados os objetos de cimento, após 7 dias e 28 dias de cura em câmara úmida, sendo que os ensaios consistiram na avaliação da resistência à compressão mecânica e absorção de água. O ensaio de resistência à compressão simples consiste em aplicação de uma carga axial crescente até que ocorra a ruptura da resistência do material. Para o ensaio de absorção de água, os pisos intertravados são colocados em estufa, onde são secos e previamente pesados. Posteriormente eles são submersos em água por cerca de 24h, quando são pesados novamente. O resultado desse ensaio é tratado como absorção, que é o valor da massa seca subtraído da massa saturada, tudo dividido pela massa seca e multiplicado por 100%.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaios de Caracterização do Agregado Reciclado

A partir do ensaio de granulometria do material, foram obtidos os resultados apresentados no gráfico 1.

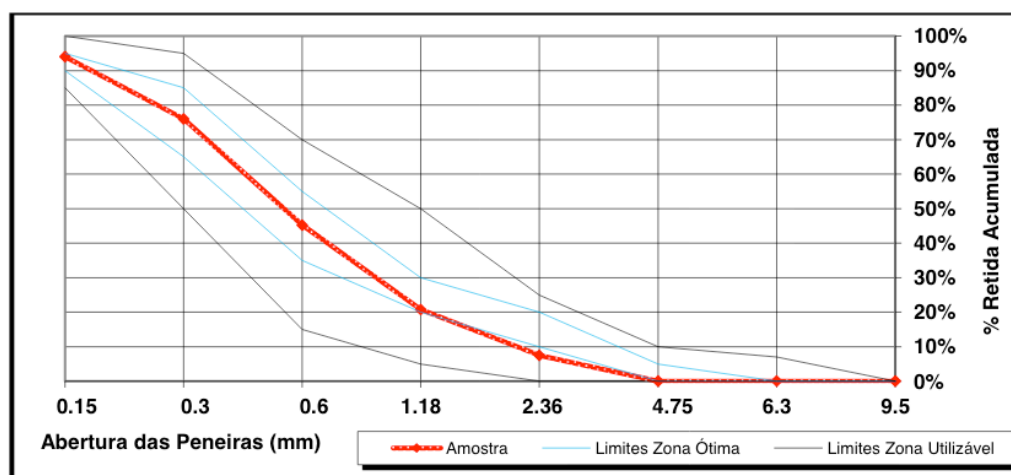


Gráfico 1: Resultados para ensaio de granulometria.

Pode-se afirmar que o agregado em questão é miúdo com diâmetro característico de 4,75mm, já que o único parâmetro discordante da zona ótima é a porcentagem retida acumulada na peneira #2.36, mas estando os valores dentro da zona utilizável. O módulo de finura está em zona ótima.

Com relação à massa unitária para um volume de 15L obtiveram-se massas de 20,20kg, 20,30kg e 20,55kg, sendo possível calcular a média massa unitária como sendo 1,36 kg/dm³. Com relação à massa específica, foram obtidos os resultados para 1º ensaio de 2,465 g/mL e para 2º ensaio de 2,442 g/mL, sendo a diferença entre eles 0,023 g/mL aceitável. Os resultados apontam que, tal como era esperado, trata-se de agregado de média massa.

No tocante ao ensaio de inchamento, analisando os resultados apresentados no gráfico 2, afirma-se que o material possui comportamento anormal se comparado com as areias comuns, já que, ao se realizar esse ensaio para material natural, o gráfico apresenta um ponto de máximo, o que não ocorreu aqui. Isso pode ser explicado pela alta quantidade de materiais finos presentes na amostra os quais absorvem muita água e incham de forma que apenas com altas adições de água esse processo é revertido. Assim conclui-se que a areia reciclada pode ser mais susceptível a mudanças na umidade ambiente que as areias comuns, sendo mais difícil, portanto, trabalhar com seu traço em dias chuvosos e úmidos por exemplo.

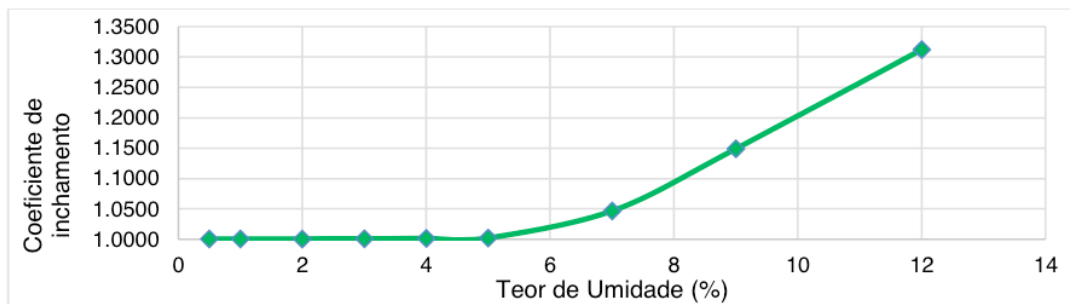


Gráfico 2: Curva de Inchamento.

4.2 Ensaios de Caracterização dos Pisos Intertravados

Primeiramente, com relação aos ensaios de resistência à compressão simples das peças moldadas na FAC, apresenta-se o gráfico 3 com os resultados.

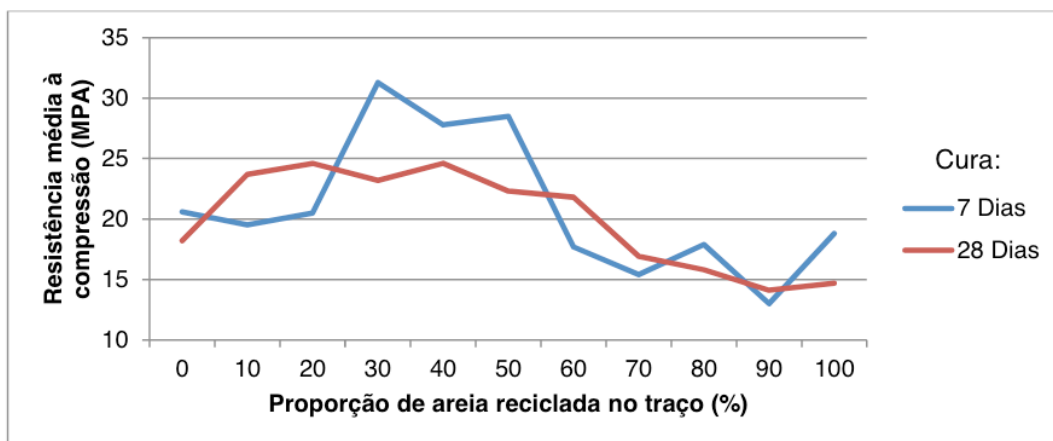


Gráfico 3: Distribuição das resistências médias à compressão, dependendo da época do ensaio e da proporção de areia reciclada na mistura (FAC).

Com relação à aprovação ou não das peças segundo sua resistência, tem-se que nenhum deles seria aprovado para ser utilizado em pavimentação para pedestres, onde se requer resistência de no mínimo 25MPa, aos 28 dias de cura. Isso pode apontar para falhas no traço utilizado ou no processo produtivo da fábrica. De acordo com o gráfico, pode-se ver que, aos 7 dias de cura, os traços que apresentaram maior desempenho tinham 30%, 40% e 50% de substituição de areia e, para idade de 28 dias, os traços são os de 10%, 20% e 40% de substituição de areia. Isso aponta para uma queda no desempenho da maioria dos pisos intertravados ao longo do tempo.

Os resultados anteriores balizaram a tomada de decisão acerca de quais pisos intertravados deveriam ser moldados na empresa privada Briquet, sendo que, por restrições temporais e de materiais, foi decidido que seriam moldados apenas 6 traços nessa empresa, considerando o controle de 0%. Como o resultado de resistência mais relevante é aferido aos 28 dias de cura, escolheu-se que os 3 traços com maiores resistências, 10%, 20% e 40% de substituição de areia, seriam moldados

na empresa Briquet. Para estabelecer os outros 2 traços a serem moldados, montou-se um intervalo de traços que representassem maior resistência para cada tempo de cura que, para 28 dias foi de 10% a 40% e, para 7 dias, foi de 30% a 50% de substituição de areia. A intersecção desses intervalos acontece entre 30% e 40% de substituição de areia. Assim os outros 2 traços escolhidos foram com 30% e 35% de substituição de areia.

Os pisos intertravados foram moldados na empresa Briquet, com traço utilizado pela FAC, sendo que foram moldados 6 traços, desde 0% de areia reciclada até 40% dessa. Para esses pisos intertravados foram aferidas suas resistências mecânicas aos 7 e 28 dias de curas, com isso foram obtidos os resultados apresentados no gráfico 4.

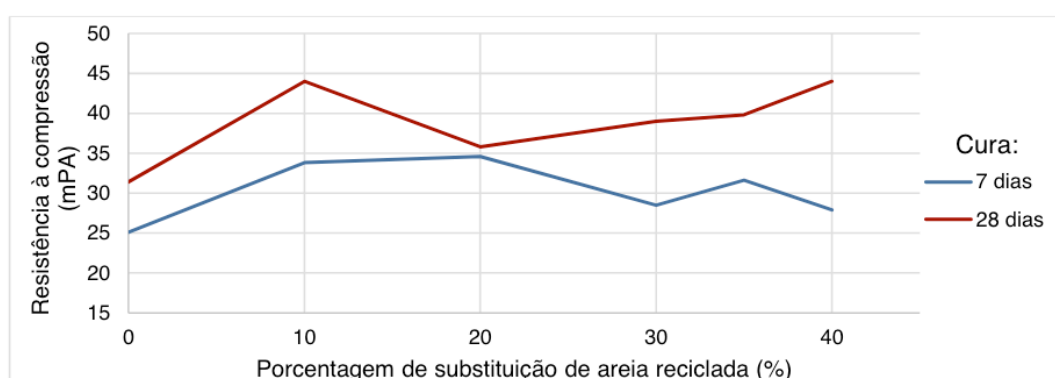


Gráfico 4: Distribuição das resistências médias à compressão, dependendo da época do ensaio e da proporção de areias reciclada na mistura (Briquet).

De acordo com o gráfico 3, pode-se ver que, aos 7 dias de idade, os traços que apresentaram maior desempenho tinham 10% e 20% de substituição de areia. Para idade de 28 dias, os traços mais eficientes são os de 10% e 40% de substituição de areia. Percebe-se um aumento no desempenho de todos os pisos intertravados ao longo do tempo, o que é contrário aos resultados dos pisos intertravados moldados na FAC. Com relação à aprovação ou não das peças segundo sua resistência, tem-se que todos eles seriam aprovados para serem utilizados em pavimentação para pedestres, onde se requer resistência de 25MPa, no mínimo. Também seriam aprovados para a pavimentação de vias para automóveis leves, os pisos intertravados com 10%, 20%, 30%, 35% e 40% de substituição, já que todos atingiram os 35MPa requisitados por norma.

Os pisos intertravados fornecidos com o traço da empresa Briquet (0%) foram inferiores aos pisos intertravados moldados na mesma fábrica com traço da FAC, isso pode ser devido ao fato de que esses foram os primeiros a serem moldados naquele dia, sofrendo com a falta de regulação da máquina ou até inferioridade de qualidade do traço da empresa privada com relação à pública. Essa moldagem na fábrica Briquet foi esclarecedora, já que mostrou a capacidade resistiva dos traços de

pisos intertravados de 6cm moldados, o que parecia inviável quando a moldagem foi feita na FAC. Isso se deve ao fato de que o mesmo traço atingiu resistências maiores, a 28 dias, na fábrica Briquet que na FAC, tal como pode ser visto no gráfico 5 a seguir.

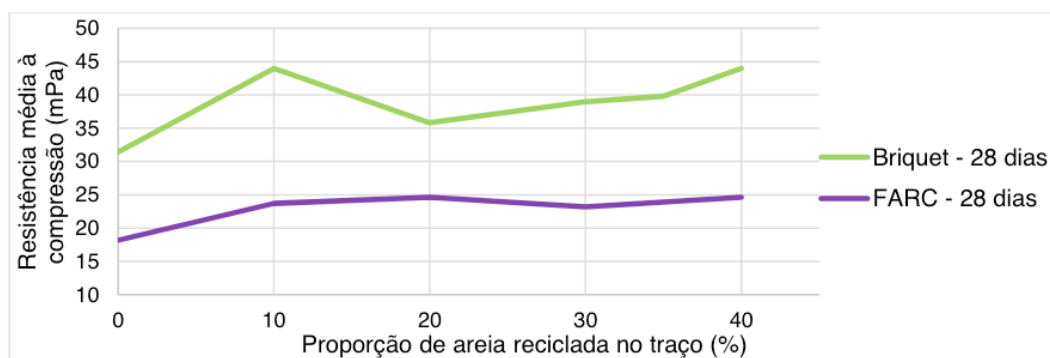


Gráfico 5: Comparativo entre as moldagens na FAC e na Briquet.

Por fim foram realizados os ensaios de absorção de água. Para as peças moldadas na FAC, a absorção média entre as 3 peças ensaiadas foi de 7,32% e tem-se que esse concreto moldado é deficiente. Talvez isso possa ser atribuído a falhas na prensagem da massa ou na sua composição. Para as peças moldadas na Fábrica Briquet, foram ensaiadas 4 peças de cada um dos 6 traços moldados. Os resultados foram de 5,46% para peças com 0% de substituição de agregado, 5,25% para peças com 10% de substituição de agregado, 5,68% para peças com 20% de substituição de agregado, 5,92% para peças com 30% de substituição de agregado, 6,67% para peças com 35% de substituição de agregado e 6,38% para peças com 40% de substituição de agregado. Todos os pisos intertravados moldados na Briquet, com exceção dos com 30% e 40% de substituição de areia foram considerados concretos normais. Os com 30% e 40% de substituição de areia foram considerados deficientes, isso talvez devida maior proporção de finos na areia reciclada, o que colabora para a formação de poros secos nos pisos intertravados, sendo pontos de maior absorção de água. A absorção média de água para os pisos moldados na Briquet foi 5,89%, sendo cerca de 1,4% menor que a absorção de água dos pisos intertravados moldados na FAC. Isso pode indicar problemas no processo de prensagem e vibração da massa de cimento na FAC, sendo resultado direto da falta de manutenção do maquinário da fábrica.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da Usina de Reciclagem de Resíduos da Construção Civil (URE) da PROHAB mostrou que as características físicas do agregado reciclado analisado (areia) foram condizentes com o esperado: a granulometria se mostrou dentro dos padrões para materiais naturais de agregado miúdo; tanto a massa específica quanto

a unitária apontam para materiais com pesos comuns (produzem concretos normais, nem leves nem pesados) e o inchamento da areia foi anormal, sendo esperado pelo fato de o material possuir maior quantidade de finos.

Para a análise do processo produtivo dos pisos intertravados na Fábrica de Artefatos Reciclados de Cimento (FAC) adotou-se como referencial a Briquet, já que se percebeu que, na segunda, o controle de qualidade é rígido, os equipamentos estão sempre passando por manutenção e os funcionários parecem ser bem treinados. A falta de resistência dos pisos intertravados moldados na FAC aponta ou para falhas no traço utilizado ou falhas no processo produtivo dessa fábrica. No entanto, como o mesmo traço atingiu resistência e índice de absorção de água melhores quando moldado na Briquet, pode-se dizer que o problema não está relacionado ao traço, mas sim ao processo produtivo, sendo algumas possíveis causas apontadas:

- 1) Não foram identificadas iniciativas de treinamento da mão de obra, específico para trabalhar na fábrica, nem incentivos de produtividade relacionados à qualidade do produto que produzem;

- 2) Falta de manutenção dos equipamentos, evidenciado pela má qualidade da balança na qual eram pesados as matérias primas dos pisos intertravados;

- 3) Falta de testes de qualidade na areia reciclada proveniente da URE.

Algumas iniciativas poderiam melhorar o processo produtivo da FAC, como exemplo:

- 1) Oferecimento de treinamentos periódicos aos funcionários, para qualificar a mão de obra, tanto antes do início dos trabalhos, bem como para reciclagem de conceitos, o que poderia incentivar mais comprometimento e foco dos trabalhadores;

- 2) Oferecimento de benefícios de redução de pena ou outras benesses aos reeducandos da penitenciária "Dr. Antonio de Queiroz Filho", atreladas não só ao cumprimento do trabalho, mas também à sua qualidade;

- 3) A manutenção dos equipamentos é uma iniciativa vital, já que garante a uniformidade dos resultados nas moldagens, ou seja, todas as máquinas deveriam receber manutenção periódica, para evitar medições, misturas e prensagens incorretas que afetem as capacidades resistivas dos pisos intertravados;

- 4) Implantação de testes na areia reciclada proveniente da URE para compreendê-la melhor antes de utilizá-la, para tentar garantir homogeneidade na qualidade das peças de concreto produzidas.

De maneira geral pode-se afirmar que a utilização do RCD como agregado artificial de concreto é viável, dado que dependendo do processo produtivo, resistências e absorções de água satisfatórias podem ser alcançadas. Isso aponta para uma alternativa de solução de dois grandes problemas da Construção Civil; primeiramente abre-se espaço para reduzir o consumo de insumos, em forma de agregados; e em segundo lugar oferece-se uma alternativa para destinação do entulho da construção e demolição, um material cheio de potencial que, se destinado a aterro, compromete sua rotatividade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6467**: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 9776**: Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

_____. **NBR 9780**: Peças de concreto para pavimentação determinação da resistência à compressão - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

_____. **NBR 9781**: Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

_____. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 307 de 05 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/a3p/_arquivos/36_09102008030504.pdf> Acesso em 05 de julho de 2019.

Briquet Indústria e Comércio de Artefatos de Cimento Ltda. Disponível em <<http://pisosbriquet.com.br/inicio/>> Acesso em 05/08/2013.

CESAR, A. C. G. **Desenvolvimento de blocos confeccionados com escória proveniente da reciclagem do aço**. 189 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008.

IBGE. **Tabela 99**: Municípios, total e com serviço de manejo de resíduos de construção e demolição, por existência e tipo de processamento dos resíduos, segundo as Grandes Regiões e as Unidades da Federação - 2008. Pesquisa Nacional de Saneamento, 2008. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf> Acesso 15/01/2013.

MEHTA, K. P.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: Estrutura, Propriedades e Materiais. São Paulo: PINI, 1994. 574 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS. **Usina de Reciclagem**. 2013. Disponível em <<http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/usina-de-reciclagem.html>> Último acesso em 04/01/2013.

RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. da S.; STARLING, T. **Materiais de Construção Civil**. 2.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG - Escola de Engenharia, 2002. 102p.

ESTUDO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA A PARTIR DE RESÍDUO PROVENIENTE DA RECICLAGEM DE PNEUS

Tatiane Caroline Rocha Lemos

Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo
São Carlos - SP

Eduvaldo Paulo Sichieri

Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo
São Carlos - SP

Victor José dos Santos Baldan

Instituto de Arquitetura e Urbanismo de São Carlos, Universidade de São Paulo
São Carlos - SP

RESUMO: Estudou-se a borracha proveniente da reciclagem de pneus que, por ter estrutura, tamanho e/ou forma adequados, pode passar por processos específicos de reúso ou reciclagem. Esses resíduos utilizados na pesquisa provêm de recauchutagem ou moagem de pneus antigos, sendo basicamente constituídos de borracha natural, borracha artificial, óleos e negro de fumo. Grande parte do resíduo de pneus acaba sendo queimado em fornos de Clínter, sendo necessário desenvolver alternativas mais eficientes e menos poluentes para se utilizar esse material, como é o caso da sua aplicação como agregado em concreto. Após abrangente revisão bibliográfica sobre concreto e resíduos de pneu, pôde-se fazer a análise do material reciclado a partir de ensaios

de caracterização física - Granulometria, Massa Unitária e Índice de Inchamento. Com isso se conseguiu caracterizar o agregado de forma a estabelecer um traço de concreto que pudesse ser moldado com substituições de 0% a 40% de borracha reciclada sobre a areia natural, objetivando o menor consumo de cimento, o maior consumo de material reciclado, para uma resistência mecânica e durabilidade estimada ótimas. Os resultados apontaram que, apesar da diferença de características físicas da borracha reciclada com relação à areia natural, seu potencial de utilização como agregado foi elevado, visto o alcance de resistências consideráveis, para peças fabricadas com agregado reciclado. Portanto isso aponta para viabilização de novas perspectivas de uso da borracha reciclada de pneus, com objetivo de se criar um produto sustentável e menos impactante ao meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de Pneu, Concreto Reciclado, Agregado Artificial, Bloco Estrutural.

STUDY OF CONCRETE DOSAGE WITH RESIDUE FROM TIRES RECYCLING

ABSTRACT: It was studied the rubber from tires recycling which, because of its structure, size and/or appropriate form can pass through specific reuse or recycling processes. These

residues used in the research come from grinding or retreading of old tires, and consist basically of natural rubber, artificial rubber, oils and carbon black. Great part of the tires residue end up being burnt in Clinker ovens, being necessary to develop more efficient and less pollutant alternatives to use this material, such is the case of using it as concrete aggregate. After comprehensive literature review on concrete and tire residues, it was possible to make an analysis of the recycled material through physical characterization tests - Granulometry, Unitary Mass and Swelling Index. With this, it was possible to characterize the material in order to stablish a concrete mix that could be molded with substitutions from 0% to 40% of recycled rubber over natural sand, aiming for the lower cement consumption, the largest consumption of recycled material, in order to reach greats mechanical resistance and estimated durability. The results point that, although there was a difference of the physical characteristics between the recycled rubber and natural sand, its utilization potential as aggregate was elevated, since considerable resistances were reached, for pieces made with recycled aggregate. Therefore, it points out to the viability of new use perspectives for the recycled rubber from tires, as a goal to create a sustainable product that affects less in the environment.

KEYWORDS: Tire Residues, Recycled Concrete, Artificial Aggregate, Structural Block.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente a humanidade tem noticiado efeitos da sociedade de consumo, por exemplo a insurgência da problemática dos resíduos sólidos. Por mais que se viva numa era em que termos relacionados à sustentabilidade são conhecidos pelos leigos, não se pode afirmar categoricamente que sua aplicação tenha evoluído ao longo dos anos, sendo que ações que a viabilizem não necessariamente ocorreram. Ao se observar o número de pneus que foram descartados incorretamente no Brasil de 2002 a 2012, cerca de 2,1 milhões de toneladas (PAZ, 2012), é possível perceber que ainda são exigidas da sociedade mais ações que visem a reciclagem ou reuso desses pneus.

A vida útil de um pneu de automóvel, é em média 50 mil quilômetros (RUFFO, 2013), sendo essa distância percorrida em meses dependendo da utilidade do veículo. Os pneus descartados, se não receberem nenhum tratamento, possuem tempo de degradação indeterminado (SILVA e CASAGRANDE, 2013), sendo que se destinados a aterros, prejudicariam sua rotatividade. A resolução CONAMA 416/2009, estabeleceu a necessidade de recolhimento e destino ambientalmente adequado - exclui-se a disposição em aterros - de um pneu inservível para cada pneu novo comercializado pelas as empresas fabricantes ou importadoras. Na prática, o Brasil registrou em 2011 um índice de reciclagem de pneus de apenas 85% (CEMPRE, 2013), sendo o resíduo utilizado, em sua maioria, para a geração de energia na indústria cimentícia (aquecimento dos fornos para produção do Clínquer, o que causa grande impacto ambiental) e na fabricação de artigos de borracha.

A produção de argamassa reciclada, com a substituição do agregado natural pelo artificial, tem sido muito explorada no meio científico, para vários materiais reciclados como resíduos de construção civil e isopor, já que é grande a facilidade de interação e baixa a reatividade entre o cimento Portland e esses resíduos. Essa maneira de aplicação do resíduo de pneus pode ser fortuita em um momento em que existe elevada obrigatoriedade de reciclagem de pneus e demanda por formas cada vez mais ecologicamente viáveis de reaproveitar esse material. Portanto justifica-se o estudo de implantação dos resíduos de pneu na fabricação de artefatos de concreto reciclado, sendo necessário, portanto, analisar a interação desses na produção de argamassa.

2 | REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Resíduos de Pneu

Uma das fontes de agregado reciclado proveniente de pneus é a recauchutagem ou recapeamento, baseado na raspagem da banda de rodagem desgastada e na colocação de uma nova banda proveniente de borracha vulcanizada (RODRIGUES, 2008). Outra maneira de se obter resíduo de pneus é através da trituração do artigo e a separação de outros materiais que não sejam a borracha (geralmente o nylon e aço) da mistura, sendo esse procedimento geralmente realizado para pneus inservíveis (ANDRADE, 2007). O resíduo passa por uma série de peneiras para que se atinjam faixas de granulometria adequadas para cada uso previsto, como pode ser observado na figura 1, em que se mostram resíduos mais graúdos.

De acordo com a norma ABNT NBR 10004/2004 os resíduos de borracha e pneus podem ser classificados como resíduos classe IIB - não perigosos e inertes, que quando submetidos a testes de solubilização não têm nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (RODRIGUES, 2008). Portanto esse resíduo pode estar adequado para aplicação na produção de produtos, os quais poderão ter contato com pessoas, animais e meio ambiente ao longo de suas vidas úteis.

Uma das formas mais comuns de se utilizar os pneus inservíveis é na produção de cimento, especificamente no aquecimento de fornos para a queima de Clínquer (MONTEIRO, 2008). Essa utilização proporciona debates atualmente, já que os riscos de contaminação ambiental e danos à saúde devidos aos gases provenientes da combustão desses pneus (SOx e contaminantes de arsênio por exemplo) são consideráveis. Outras maneiras populares para destinação do pneu inservível são fabricação de tapetes e capachos e regeneração da borracha para fabricação de novos pneus.

É escopo dessa pesquisa estudar uma forma alternativa de aplicação do pneu

inservível, na produção de blocos estruturais. Isso deve ser feito de forma a minimizar a contaminação ao meio ambiente e evitar que milhares de pneus sejam destinados a aterros, sem que suas possibilidades de utilização tenham se esgotado. Um estudo semelhante, de produção de bloco para alvenaria feito de concreto, já foi realizado por FIORITI (2002), sendo que parte de sua metodologia foi aplicada a essa pesquisa. Após determinar as dimensões desejadas do resíduo de borracha, FIORITI (2002) moldou corpos de prova, blocos estruturais e blocos de vedação, sendo para eles aferidas as resistências à compressão simples e absorção de água. Os resultados da dissertação mostram que, dependendo da relação de substituição de agregado natural por reciclado, os blocos estruturais podem apresentar diferentes resistências mecânicas e índices de absorção de água, sendo possível fabricar blocos de forma que essas características se adequem às normas. Em FIORITI (2007) expandem-se os estudos, agora realizando trabalho semelhante a FIORITI (2002), aplicado a pisos intertravados de concreto. Outra pesquisa que estuda a interação do resíduo do pneu no concreto é de VERZEGNASSI et al. (2011), em que foram analisados 4 traços de concreto simples (de 0 a 6% de borracha), sendo eles produzidos sem que se alterasse o fator água-cimento. Foram moldados corpos de prova, e foram conduzidos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral, resistência à tração na flexão e módulo estático de elasticidade.

2.2 Blocos de Argamassa

As peças a serem moldadas são os blocos estruturais, os quais são utilizados no sistema construtivo de alvenaria estrutural que, ao contrário do sistema vigapilar, mais tradicional no país, reduzem a necessidade de moldes de concreto em fôrmas no local. Na produção dos blocos, o cimento possui um custo de produção muito alto o que inviabiliza sua utilização numa mistura pura com água. Por isso desenvolveram-se a argamassa e o concreto, sendo que, como agregado, utiliza-se, para o primeiro, apenas o agregado miúdo (areia) e para o último os agregados miúdo (areia) e graúdo (brita) (PABLOS et al., 2002). Esse agregado adicionado, faz com que o consumo de cimento diminua para a produção de uma mesma quantidade de massa, mas é importante que ele apresente algumas características para que haja boa interação com o cimento e a consequente formação de uma boa massa, tais como adequadas: resistência mecânica, massa específica e granulometria (PABLOS et al., 2002). Adequadas bases de comparação são os agregados naturais, sendo no caso dessa pesquisa, em que foram desenvolvidas argamassas, consideradas as areias naturais fluviais comuns, agregados miúdos com relação à ABNT NBR 9935:2011.

Após determinado o traço, esse deve ser moldado e testado, após 28 dias de cura (no caso do laboratório essa cura é feita em câmara úmida) (PABLOS et al., 2002). Para determinar a eficácia da formulação de massa criada na construção do objeto, é feito ensaio de resistência à compressão simples, que é regulamento pela

ABNT 5739:2007, sendo é executado a partir da aplicação de carga axial crescente, a uma taxa pré-estabelecida, até que o corpo perca resistência e se rompa. Com os resultados desse ensaio enquadra-se o bloco a uma categoria, como mostrado na tabela 1, de acordo com a norma ABNT NBR 6136:2007, considerando que os blocos produzidos são M-12,5.

Classes	Resistência Característica	Utilização
A	≥ 6 MPa	Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo;
B	≥ 4 Mpa	Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo;
C	≥ 3 Mpa	Com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo para edifícios de no máximo 2 pavimentos;
D	≥ 2 Mpa	Sem função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo.

Tabela 1: Categorias de resistência dos blocos. Fonte: Adaptado de ABNT NBR 6136:2007.

2.3 Caracterização do Agregado

Por haver pouca menção aos agregados artificiais nas normas e legislações, os estudos das características dos agregados foram realizados considerando os parâmetros para materiais naturais. Segundo as dimensões, realiza-se o ensaio de granulometria, que classifica o material estudado quanto aos tamanhos de seus grãos e a distribuição em que eles ocorrem. De acordo com a norma ABNT NBR 7211:2009, pode ser chamado de miúdo o agregado cujos grãos conseguem passar pela peneira com abertura de malha 4,75mm. Outra característica relevante para os agregados é sua massa unitária, que impacta na determinação das características de peso do concreto final, sendo as classes apresentadas na tabela 2 a seguir.

Classificação	Massa unitária γ_a (kg/dm ³)	Exemplos	Exemplos de utilização
Leves	$\gamma_a < 1$	Escória de alto-forno, lodo de esgoto, argila expandida	Pré-moldados
Normais	$1 < \gamma_a < 2$	Areia, brita e pedregulho	Obras correntes
Pesados	$\gamma_a > 2$	Barita, limonita, magnetita	Concretos de estruturas especiais: blindagem contra radiações etc.

Tabela 2: Classificação de agregados conforme a massa unitária. Fonte: Ribeiro et al. (2002).

A última característica de importância analisada foi o índice de inchamento do agregado miúdo, sendo ele um “fenômeno relativo à variação do volume aparente,

provocado pela absorção de água livre pelos grãos do agregado, que altera sua massa unitária” (ABNT NBR 6467:2006, p.1). Quanto maior for o inchamento de um agregado por unidade de adição de água, maior será a dificuldade de promover a estabilização de traços, e a umidade crítica indica o ponto em que os problemas com inchamento da amostra e alteração de traço cessam.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

O material agregado de pneu reciclado foi encomendado da empresa *Ecija Com. Exp. e Imp. de Prod. Ltd.* localizada na cidade de Colombo/PR, em duas apresentações: pó fino e fibra nº2 (que possui tiras de 1mm a 1cm de comprimento). A moldagem dos blocos de alvenaria estrutural foi feita na empresa *Hiper Blocos*, localizada em São Carlos/SP, sendo usados os insumos dela fornecidos. A água é retirada de poço artesiano. O pó de pedra e a areia são comprados diretamente de areais e são fornecidos por caminhões e armazenados em baias ao ar livre. O cimento CPV-ARI Plus da marca Lafarge é apresentado em sacos de 50kg estocados em área seca e ao abrigo do sol. O aditivo MIX plastificante reduz a demanda de água da mistura de argamassa do bloco, sendo da marca QSR Santa Rita.

Em primeiro momento, foram feitos os testes de caracterização com os agregados encomendados à empresa Ecija. Com relação ao ensaio de granulometria, foi utilizado o jogo de oito peneiras com as aberturas de #0,15mm; #0,30mm; #0,60mm; #1,20mm; #2,40mm; #4,80mm; #6,30mm e #9,5mm. De acordo com a ABNT NBR NM 248, um como ambos agregados têm dimensão máxima nominal (especificado na embalagem) menor que 4,75mm, deve ter amostra com peso de no mínimo 300g, sendo que são necessárias duas amostras para tal ensaio. Após a pesagem, as amostras foram despejadas, uma por vez, no conjunto de peneiras e levadas à máquina peneiradora mecânica por cerca de 15 minutos, para que todo o material fosse bem agitado e distribuído. Logo após, o material foi retirado de cada peneira e pesado um a um, de acordo com a ABNT NBR NM 248, a fim de se obter a distribuição de granulometria. Para ensaio de massa unitária, as amostras foram colocadas em um recipiente cúbico com capacidade de 3l, enchido cuidadosamente, duas vezes para cada agregado. Após já ter tarado a balança com o peso do recipiente, foi pesado o conjunto.

Ainda na caracterização dos agregados, mas para determinação de índice de inchamento, de acordo com a norma ABNT NBR 6467:2006 seca-se em estufa (105 ±5) °C uma amostra do material. Para realizar o ensaio utiliza-se um recipiente cilíndrico e a amostra a ser ensaiada daqui para frente consiste no conteúdo que cabe exatamente no cilindro. Para a umidificação do agregado, deve ser pesada e adicionada água em quantidades sucessivas até que se obtenha teores de umidade próximos a 0,5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 9% e 12%, sendo que para cada teor de umidade, a amostra deve ser homogeneizada de forma cautelosa. Assim o recipiente cilíndrico é enchido com o material e pesado, sendo que é esperado que a cada

adição de água, menos material caiba no recipiente, o que define o fenômeno do inchamento. Para o cálculo do coeficiente de inchamento, sabendo-se o teor de umidade da amostra, utiliza-se a fórmula a seguir. Feito isso é necessário traçar o gráfico “Coeficiente de inchamento versus umidade”, para determinação da umidade crítica da amostra.

$$I = \frac{\gamma_s}{\gamma_h} \cdot \frac{(100 + h)}{100}$$

Sendo: I - coeficiente de inchamento; γ_s - massa unitária do agregado seco em estufa; γ_h - massa unitária do agregado com determinado teor de umidade; h - teor de umidade da amostra.

Com relação à moldagem dos blocos, o traço base utilizado foi o comercialmente empregado pela empresa Hiper Blocos, sendo que, por motivos de proteção industrial, esse não foi abertamente disponibilizado para a pesquisa; no entanto observou-se que para fazer cerca de 15 blocos de argamassa, utilizou-se em média: 1 carriola de pó de pedra, 1 carriola de areia média, 5l de cimento, 10ml de aditivo e 3l de água. Para a montagem de blocos é utilizado traço misto, com material reciclado e material natural (cimento + areia/resíduos de pneus + pó de pedra + água + aditivo), sendo a substituição dos agregados feita com relação à areia, mantendo-se as proporções de todos os outros materiais. As normas brasileiras não recomendarem a montagem de blocos com finalidade estrutural com 100% de material reciclado, sendo a proporção de 30% de reciclado para 70% de material natural a máxima aceitável, sob a premissa de que eles apresentam menor resistência final, hipótese que foi testada durante esse trabalho. Portanto a moldagem dos blocos foi agendada para o dia 17/07/2014, sendo feita na empresa Hiper Blocos 9 traços de substituição: 0%, 10%, 20%, 30% e 40% para cada agregado de pneu.

Para a produção dos blocos, os materiais da argamassa foram misturados em uma betoneira de eixo vertical, sendo eles medidos em volume e carregados manualmente à máquina, com auxílio de carrinhas. Depois de homogeneizada, a massa é despejada numa esteira rolante elétrica que a leva até a Vibro Prensa Hidráulica Manual, máquina que adensa e prensa a argamassa na fôrma. Após serem moldados os blocos são colocados sobre madeiras e levados a secar sob o sol, sendo umedecidos periodicamente para evitar a formação de fissuras devida a má cura do cimento.

Após a moldagem dos blocos, eles foram curados em câmara úmida por 28 dias, sendo 3 blocos de cada traço, para cada agregado, analisado em ensaio de resistência à compressão simples.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Ensaios de Caracterização do Agregado Reciclado

Primeiramente apresentam-se os resultados dos ensaios de granulometria do agregado através dos gráficos 1 e 2. Para o pó fino, houve a classificação como agregado miúdo com diâmetro característico de 0,6mm, e os únicos parâmetros discordantes da zona utilizável do agregado miúdo são as porcentagens retidas acumuladas nas peneiras #1.18 e #0.6. A fibra nº2 também foi considerada agregado miúdo, por ter grãos menores que 4.75mm, sendo que os dados das peneiras #0.3 e #0.6 foram diferentes dos esperados para a zona utilizável. Como os blocos atualmente produzidos na usina utilizam apenas a areia, típico agregado miúdo, as discordâncias anteriormente apresentadas podem influenciar o bloco estrutural moldado. No caso do pó fino, como ele possui menor tamanho que a areia, poderá atuar mais como filler, que como agregado miúdo. Já a fibra nº2, por possuir tamanhos maiores que a areia, pode ficar grosseira na argamassa.

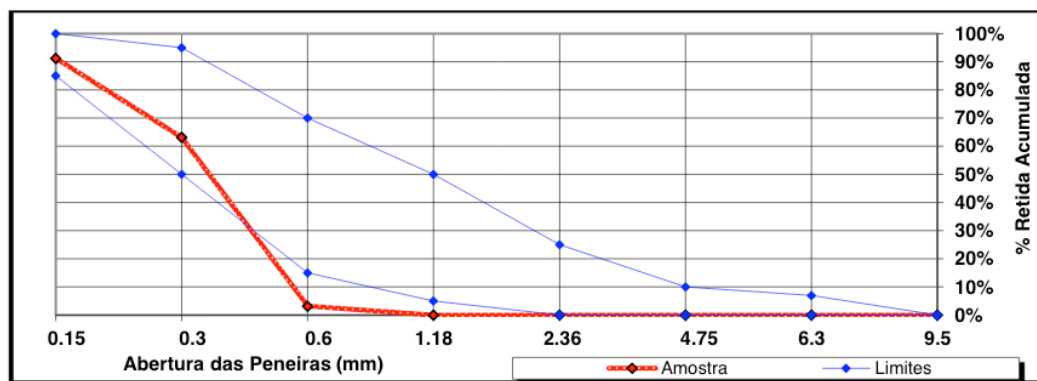


Gráfico 1: Granulometria amostrada para pó fino, posicionada na zona utilizável proposta pela norma ABNT NBR 7211/2009.

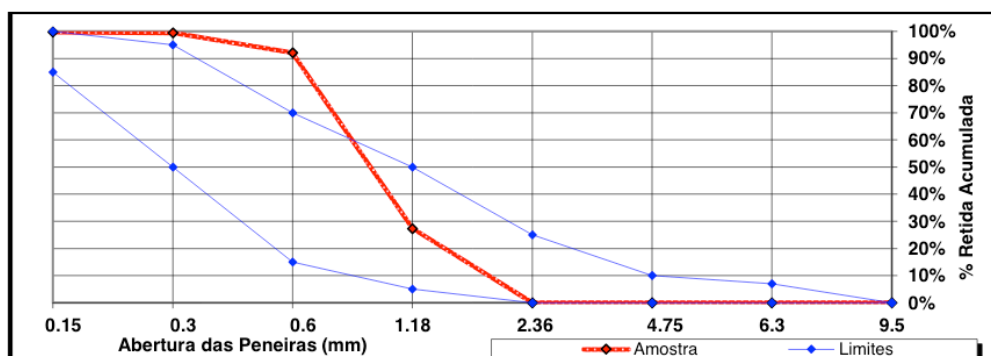


Gráfico 2: Granulometria amostrada para fibra Nº2, posicionada na zona utilizável proposta pela norma ABNT NBR 7211/2009.

Em seguida são analisados resultados dos ensaios de massa unitária, sendo os resultados apresentados na tabela 3. Ambos agregados são leves e, ao se comparar esses números com o apresentado em Santos (2005) - $0,3\text{kg/dm}^3$ - pode-se afirmar

que há semelhança, indicando que os ensaios foram satisfatórios.

Pó fino		Fibra n°2	
m1	1047,2 g	m1	1068,0 g
m2	1037,9 g	m2	1073,8 g
m3	1025,0 g	m3	1071,0 g
média	1036,7 g	média	1070,9 g
M. U.	0,346 Kg/dm ³	M. U.	0,357 Kg/dm ³

Tabela 3: Resultados de massa unitária (M.U.)

Para o índice de inchamento, entende-se que apenas o pó fino sofra mais inchamento que a areia natural, por possuir maior índice de partículas de tamanho de argilas e siltes, mas que a fibra n°2 não viesse a ter problemas com isso, dadas suas dimensões e impermeabilidade natural da borracha. Portanto o ensaio foi realizado somente para o pó fino, sendo os resultados apresentados a seguir no gráfico 3, que apresenta “Coeficiente de inchamento versus umidade”.

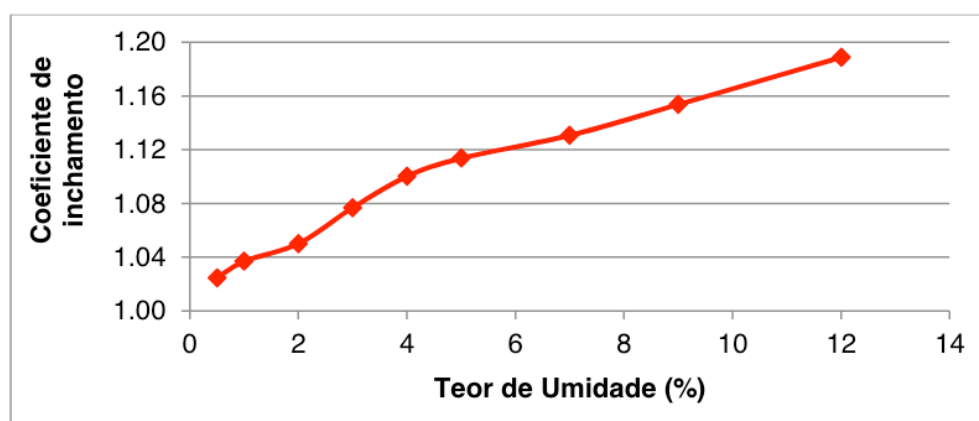


Gráfico 3: Curva de Inchamento.

Com a análise do gráfico sabe-se que o material possui comportamento anormal se comparado com as areias comuns, já que não se observa ponto de máximo, sendo assim, somente com esse ensaio é impossível determinar corretamente a umidade crítica da amostra. Esse comportamento anormal pode ser explicado pela alta quantidade de materiais finos presentes na amostra (fato comprovado no ensaio de granulometria), os quais absorvem muita água e incham de forma que apenas com altas adições de água esse processo é revertido. Assim conclui-se que o agregado reciclado de pneu, pó fino, é mais susceptível a mudanças na umidade ambiente que as areias comuns, sendo mais difícil, portanto, trabalhar com seu traço em dias chuvosos e úmidos por exemplo.

4.2 Ensaio Caracterização dos Blocos

Para o ensaio de resistência à compressão simples os resultados são apresentados na tabela 4. Os blocos do padrão (0% de substituição) e com 10%

de substituição do pó fino são de classe A (com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima ou abaixo do nível do solo) porque a resistência é maior que 6,0MPa. Os blocos com 10% de substituição da fibra nº2 e com 20% de substituição do pó fino são de classe B (com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo) porque a resistência é maior que 4,0MPa. Os blocos com 30% de substituição do pó fino são de classe C (com função estrutural, para uso em elementos de alvenaria acima do nível do solo para edifícios de no máximo 2 pavimentos) porque a resistência é maior que 3,0MPa. Os outros blocos não atingiram a resistência mínima para serem considerados estruturais e, porque apresentaram resistência maior que 2,0 MPa, foram classificados como de vedação.

Substituição	Resistência fbk (MPa)		
	Padrão	Pó fino	Fibra nº2
0%	6,8	-	-
10%	-	6,7	5,6
20%	-	4,3	2,8
30%	-	3,9	2,5
40%	-	2,6	2,0

Tabela 4: Resultados dos ensaios de compressão simples dos blocos estruturais.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Análises do resíduo adquirido da Ecija, em duas apresentações de pó fino e fibra nº2, mostram que nenhuma se adequa completamente ao que se espera para agregados naturais como a areia natural convencional. Com relação à granulometria, nenhum dos resíduos se enquadra nas definições de agregado miúdo das normas brasileiras ABNT NBR, portanto recomenda-se que, para pesquisas futuras, misturem-se os resíduos e se realize o peneiramento, para retirar os materiais fora da faixa ideal. Com relação à massa unitária, o material reciclado se mostrou mais leve que a areia natural convencional, o que traz novas perspectivas de aplicação dos resultados da pesquisa. Além de se criar um bloco mais sustentável, pode-se criar um material mais leve que do bloco tradicional, sendo interessante nas aplicações em que a solicitação na fundação seja um quesito importante, por exemplo. Com relação ao índice de inchamento para o pó fino, pode-se perceber que, como ele é mais proeminente que em areia natural convencional, poderão ocorrer problemas, sobretudo no tocante ao armazenamento do agregado e correção de traço dada variação de umidade ambiente.

Tendo sido feita a análise dos blocos moldados, pode-se afirmar que é possível criar blocos de concreto para alvenaria estrutural que apresentem resistências aceitáveis com até 30% de substituição do pó fino e até 10% de substituição da fibra nº2. Isso aponta para o sucesso do material reciclado na substituição da areia no ponto de vista de resistência e abre novas perspectivas de uso da borracha reciclada

de pneus, já que se cria um bloco mais sustentável e menos impactante ao meio ambiente. Sugere-se aprofundar os estudos acerca das características do bloco, por exemplo na tentativa de caracterizar seu comportamento térmico, sua aceitabilidade com relação a argamassas de revestimento e durabilidade.

Pode-se afirmar, portanto, que os resultados são benéficos e espera-se que ajudem a diminuir a quantidade de pneus descartados incorretamente no Brasil, além de incentivar a criação de formas cada vez mais inovadoras, sustentáveis e eficientes de usar os materiais recicláveis inutilizados todos os dias, de forma a contribuir para a preservação do meio ambiente e da vida humana nesse ambiente.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, H. de S. **Pneus inservíveis: alternativas possíveis de reutilização**. 100p. Monografia - Centro Sócio-Econômico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 1004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

_____. **NBR 6467**: Agregados - Determinação do inchamento de agregado miúdo - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 9935**: Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

Brasil. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 416 de 30 de setembro de 2009**. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616>> Acesso em 05 de julho de 2019.

Comissão Empresarial para Reciclagem (CEMPRE). **Pneus**. 2013. Disponível em www.cempre.org.br/ft_pneus.php. Acesso em 23/04/2013.

FIORITI, C. F. **Avaliação de compósitos de concreto com resíduos de borracha na produção de blocos para alvenaria**. 134p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Júnior", Ilha Solteira, 2002.

FIORITI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneus como material alternativo**. 202p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

MONTEIRO, L. P. C.; MAINIER, F. B. **Queima de pneus inservíveis em fornos de clínquer**. Engevista, v.10, n.1. p.52-58, 2008.

PABLOS, J. M.; SICHIERI, E. P.; FERREIRA, O. P. **Materiais de Construção**. São Carlos: Publicação interna EESC, 2002.

PAZ, Jailson da. Em nove anos, Brasil jogou 2,1 milhões de toneladas de pneus usados no lixo. **Diário de Pernambuco**, 13 de março de 2012. Disponível em <<http://blogs.diariodepernambuco.com.br/meioambiente/2012/03/em-nove-anos-brasil-jogou-21-milhoes-de-toneladas-de-pneus-usados-no-lixo/>>. Acesso em: 10/01/2014.

RODRIGUES, M. R. P. **Caracterização e utilização do resíduo da borracha na construção civil**. 252p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

RUFFO, Gustavo H. Serviços simples ampliam durabilidade dos pneus. **Estadão**, 06 de setembro de 2013. Jornal do Carro. Disponível em <<http://www.estadao.com.br/jornal-do-carro/noticias/servicos,servicos-simples-ampliam-durabilidade-dos-pneus,13921,0.htm>>. Acesso em 08/10/2013.

SANTOS, A. C. dos. **Avaliação do comportamento do concreto com adição de borracha obtida a partir da reciclagem de pneus com aplicação em placas pré-moldada**. 116p. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

SILVA, M. A. R.; CASAGRANDE, A. A controvérsia dos pneus, o princípio da prevenção e precaução e o dever de sustentabilidade. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, Santa Maria, v. 8, 758-768, 2013. Disponível em < <https://periodicos.ufsm.br/revistadireito/article/view/8404/5092>>. Acesso em 05/07/2019.

VERSEGNASSI, E.; LINTZ, R. C. C.; BARBOSA, L. A. G.; JACINTHO, A. E. P. G. de A. **Concreto convencional com adição de borracha reciclada de pneus: estudo das propriedades mecânicas**. Estudos Tecnológicos, v.7, n. 2, p. 98-108, 2011.

ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICA DA MADEIRA: UMIDADE, DENSIDADE APARENTE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELAS ÀS FIBRAS DAS ESPÉCIES COMERCIALIZADAS NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-RR

Weiza Nunes Barbosa

Centro Universitário Estácio da Amazônia - RR

Emerson Lopes de Amorim

Centro Universitário Estácio da Amazônia - RR

Luiz Gustavo Ayres Barros

Centro Universitário Estácio da Amazônia – RR

Kellen de Souza Singh

Centro Universitário Estácio da Amazônia – RR

Lucas Matos de Souza

Centro Universitário Estácio da Amazônia – RR

José Castro Lima

Centro Universitário Estácio da Amazônia – RR

RESUMO: Este artigo se trata de um estudo sobre as propriedades físicas e mecânicas: umidade, densidade e resistência à compressão do uso das madeiras de espécies Angelim-Ferro e Cupiúba comercializadas em Boa Vista-RR. Diante de uma quantidade de espécies trabalhadas no município, iniciou-se um estudo tendo como objetivo específico: realizar o levantamento bibliográfico e coleta de amostras das espécies, realizar os experimentos para obtenção das propriedades físicas e mecânica e verificar quanto os dados obtidos experimentalmente se aproximam da ABNT NBR 7190/1997. A metodologia utilizada abrange pesquisas bibliográficas, coleta de amostras das espécies em estudo e procedimento experimentais realizados em laboratório. Ao

final, os trabalhos realizados atenderam os objetivos propostos e se mostraram satisfatórios diante dos resultados obtidos, mostrando a viabilidade de serem desenvolvidos trabalhos futuros usando os dados obtidos neste trabalho. **PALAVRAS-CHAVE:** Madeira; Angelim-Ferro; Cupiúba; Propriedades Físicas e Propriedade Mecânica.

STUDY OF PHYSICAL PROPERTIES AND WOOD MECHANICS: HUMIDITY, APPARENT DENSITY AND RESISTANCE TO COMPRESSION OF SPECIES MARKETED IN BOA VISTA CITY

ABSTRACT: This article is a study of the physical and mechanical properties: moisture, density and compressive strength of the wood of Angelim-Ferro and Cupiúba species in commercialization in Boa Vista-RR. Before a quantity of species worked in the municipality, began a study with the specific objective: to carry out the bibliographic survey and collection of samples of the species, perform the experiments to obtain the physical and mechanical properties and verify how much the data obtained experimentally approach the ABNT NBR 7190/1997. The methodology used includes bibliographical research, collection of samples of the species under study and experimental procedure carried out in the

laboratory. At the end, the work carried out met the proposed objectives and proved satisfactory to the results obtained, showing the feasibility of future work being done using the data obtained in this work.

KEYWORDS: Wood; Angelim-Ferro; Cupiúba; Physical Properties and Mechanical Property.

INTRODUÇÃO

A madeira é usada como material de construção desde o início das civilizações por ser uma matéria-prima em abundância na natureza. A sua trabalhabilidade é de fácil manuseio contribuindo para o seu uso como material de construção natural. A madeira é encontrada em abundância na região norte sendo exportada para outras regiões do país e usada para uma diversidade de aplicações na engenharia civil. O uso dessa madeira como material de construção depende de suas propriedades físicas e mecânicas. Essas propriedades são importantes no momento de escolher a madeira adequada para usar em obra, a fim de evitar futuros prejuízos e acidentes durante a realização da construção. Em Boa Vista-RR, existe grande comercialização de várias espécies de madeiras e as mais comercializadas pelas madeireiras são angelim-ferro e cupiúba. Neste contexto, o trabalho tem por objetivos específicos realizar o levantamento bibliográfico e coleta de amostras das espécies em estudo, verificar o quanto os dados obtidos experimentalmente se aproximam da ABNT NBR 7190/1997. Por fim, o trabalho tem grande relevância por contribuir com dados para que futuras pesquisas sejam realizadas com o objetivo de buscar o conhecimento sobre a forma de aplicação das madeiras nas obras de construção civil no Estado de Roraima.

REFERENCIAL TEÓRICO

Madeira na construção civil

O emprego da madeira na construção civil remonta desde os primórdios da civilização. Esta se apresenta como material excepcional e como matéria-prima industrial de múltiplo aproveitamento que acompanha e sustenta o desenvolvimento da qualidade de vida do homem (MASCARENHAS, 2008).

De acordo com Agopyan (2011), o uso da madeira ainda é indispensável para muitos arquitetos e engenheiros por ser um diferencial de beleza e sofisticação. Em quase todas as etapas das execuções das obras da construção civil, a madeira se encontra presente sistematicamente em estruturas, escoramentos, esquadrias, pisos, forros, revestimentos até a mobília final.

A madeira é um ótimo material de construção quanto aos aspectos de conforto, plasticidade no projeto, rapidez de montagem e durabilidade. Habitar uma casa de madeira aproxima o homem da natureza, pois, a madeira mantém, em seu estado final de industrialização, características como cores, textura e aromas naturais, que podem ser explorados nas diferentes aplicações das construções habitacionais (MEIRELLES et al. 2007).

Diversas propriedades tornam a madeira um produto muito atraente frente a outros materiais. Dentre essas, são comumente citados o baixo consumo de energia para seu processamento, a alta resistência específica, as boas características de isolamento térmico e elétrico, além de ser um material muito fácil de ser trabalhado manualmente ou por máquinas (ZENID, 2010).

Propriedades Físicas da Madeira

As propriedades da madeira são de suma importância para análise das espécies, em geral, onde segundo ESPÓSITO (2007), a madeira apresenta como resultado da sua origem biológica, em geral, grande variabilidade, verificando-se este fato dentro da mesma espécie, mas sobretudo entre material proveniente de espécies diferentes. As propriedades físicas são subdivididas em teor de umidade, densidade, retratilidade, condutividade térmica, condutividade sonora e resistência ao fogo, no entanto, neste trabalho iremos abordar umidade e densidade.

O estudo da umidade da madeira é importante, pois, ela afeta diversas características do material como trabalhabilidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade natural. Nesta linha de raciocínio o autor Silva e Oliveira (2003) aborda que a madeira é altamente higroscópica, possuindo retrações e inchamentos de acordo com o teor de umidade do ambiente.

O estado em que a madeira se encontra em equilíbrio com o meio ambiente é chamado de umidade de equilíbrio. Madeiras devem apresentar uma umidade próxima de equilíbrio quando em uso, pois, uma vez atingida essa condição os problemas relativos à retratilidade serão amenizados (Silva e Oliveira, 2003).

Segundo o autor Silva e Oliveira (2003), conforme o habitat das espécies, elas poderão adquirir um teor de umidade excessivo e prejudicar suas propriedades físicas e mecânicas, contudo, não é possível ser utilizadas para os fins da construção civil, visto que na sua maioria as espécies quando tem uma idade para manejos e comercialização.

Por outro lado, a densidade é um importante fator na determinação das propriedades físicas e mecânicas que caracterizam diferentes espécies de madeiras, diferentes árvores de uma dada espécie e diferentes regiões de uma mesma árvore (FOELKEL, 1971).

A variação na propriedade física, densidade pode ocasionar uma melhor resistência em sua propriedade mecânica, bem como suas densidades aparentes

podem variar de acordo com sua região para que seja melhor definida sua aplicação nas diversas estruturas dentro da construção civil.

Densidade básica é a massa de madeira seca em relação ao seu volume saturado. Por ser de fácil determinação e de apresentar boa correlação com as propriedades mecânicas da madeira, é uma das propriedades físicas mais estudadas no mundo (Panshin e Zeeuw, 1970).

A densidade da madeira, assim como a rigidez, é sensivelmente afetada pelo teor de umidade. Todavia, o efeito da umidade na rigidez é muito mais expressivo do que na densidade (PFEIL, 2003).

Propriedades mecânicas da Madeira

As propriedades mecânicas resistem aos esforços de compressão, flexão, tração, cisalhamento, fendilhamento, dureza e embutimento, o respectivo artigo trata-se apenas de resistência à compressão. O conhecimento das propriedades mecânicas é de grande importância para determinar adequadamente a aplicação da madeira as mais variadas utilizações, principalmente em relação aquelas que requerem uma maior resistência e rigidez (MULLER et al., 2014; CAIXETA, 2003).

Segundo Meirelles e Pala (2010), a resistência da madeira difere segundo os três eixos principais: longitudinal, radial e tangencial, em que a resistência da madeira na direção paralela às fibras é muito grande devido à densidade e a continuidade da fibra na direção longitudinal, enquanto que na direção perpendicular à fibra (tangencial e radial) existem maiores vazios.

Melo (1999) cita que existem alguns fatores que influenciam as propriedades mecânicas da madeira, como o teor de água, a densidade, a velocidade da aplicação da carga, a duração da carga, defeitos intrínsecos à madeira, lenho juvenil e a temperatura. Pinto et al. (2007) relatam que tal número de variáveis permite concluir que a madeira é um material de comportamento extremamente complexo.

No ensaio de compressão paralela às fibras é aplicada uma carga sobre a peça de madeira a fim de se verificar o valor máximo que a espécie suporta sem ser esmagada (PEREIRA, 2013).

De acordo o autor Pereira (2013), o ensaio à compressão visa a buscar o quanto suas fibras resistem em que é aplicada uma determinada força, porém, desde que suas dimensões estejam de formas corretas.

METODOLOGIA

O estudo do ponto de vista da sua natureza é uma pesquisa aplicada com objetivo de gerar conhecimento para aplicação das análises de madeira. Terá abordagem quali-quantitativa cujo objetivo é uma pesquisa explicativa através de procedimentos como: bibliográfico e experimental, com análise da ABNT NBR 7190/1997- Projeto de estruturas de madeira, junto com um estudo das propriedades físicas e mecânica das

madeiras de espécie angelim-ferro e cupiúba.

Equipamentos

Foram utilizados os equipamentos: Balanças analíticas BK 300 e M 6k, com suas respectivas precisões máxima 310g e 6100g, mínimo de 0,02g e 5g, erro 0,01 e 1g, divisão de leitura 0,001 e 0,1g; estufa esterilizada com capacidade de 0 a 300 graus Celsius; paquímetro eletrônico e prensa eletrônica de resistência à compressão com velocidade 0 a 80 kgf/s e com capacidade de até 100tf.

Coleta e Preparo das Amostras

O procedimento de coleta de dados e execução do experimento foi realizado com base na NBR 7190/97.

Foram coletadas as amostras na serraria, localizada no logradouro distrito industrial no município de Boa Vista-RR, retiradas as peças de amostras de angelim-ferro e cupiúba com auxílio de motosserra. As peças possuem comprimento de 30cm e diâmetro médio de 55,8cm conforme ilustrado na Figura 2. Extrai-se uma amostra do lote investigado, com corpos-de-prova distribuídos aleatoriamente ao longo do lote, em que deve haver representativa da totalidade deste. Para isso, não se deve retirar mais de um corpo-de-prova de uma mesma peça. Os corpos-de-prova devem ser isentos de defeitos e retirados de regiões afastadas das extremidades das peças de pelo menos cinco vezes a menor dimensão da seção transversal da peça considerada, mas nunca menor que 30 cm.



Figura 2: Corte das peças

Fonte: Autora (2019)

REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Experimento de Umidade

Para obtenção dos ensaios de umidade das espécies angelim-ferro e cupiúba, foram extraídas 12(doze) amostras de cada espécie subdivididas em dois modelos,

A e B, com finalidade de classificar e ter um parâmetro de porcentagem de umidade conforme a fórmula da norma NBR7190/1997.

$$U (\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100$$

Onde:

U% é o teor de umidade;

m_i é a massa inicial da madeira, em gramas;

m_s é a massa da madeira seca, em gramas;

Não obstante, o teor de umidade das espécies que foram determinadas, usando os corpos-de-prova de seção transversal retangular com dimensões nominais de 2,0 cm x 3,0 cm e comprimento ao longo das fibras de 5,0 cm. Colocam-se duas amostras de Angelim-ferro e duas de Cupiúba em estufa a uma temperatura de 105°C Celsius de acordo com a NBR 7190/97(B.5.4). A cada 6 horas foram retiradas as amostras e pesadas em uma balança de precisão conforme a Figura 3.

O experimento foi repetido até as amostras alcançarem uma massa menor ou igual a 0,5 % da última massa da amostra coletada, assim com uma duração total de 24 horas.

Após esses procedimentos foram realizados a tabulação dos dados em planilha eletrônica e realizado o cálculo de obtenção do valor da umidade para cada madeira de acordo com a norma NBR 7190/79(B.5.2).



Figura 3: Coleta das amostras.

Fonte: Autora (2019)

Experimento de Densidade

Verificou-se também que para a propriedade física a densidade é dividida em dois cálculos: densidade básica e densidade aparente.

Com os corpos-de-prova submersos em água destilada, foram necessárias apenas duas pesagens para chegar-se no valor constante. Para calcular a densidade

básica, são necessários os dados de umidade, pois precisa-se do valor da massa seca em quilogramas e do volume saturado pelas dimensões finais dos corpos-de-prova, imposto pelo cálculo da norma NBR7190/1997(B.6.2).

$$\rho_{bas} = \frac{ms}{V_{sat}}$$

Onde:

bas é a densidade básica;

ms é a massa seca da madeira, em quilogramas;

Vsat é o volume da madeira saturado, em metros cúbicos.

Segundo a norma ABNT NBR 7190/1997, a densidade aparente é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume de corpo-de-prova com teor de umidade de 12%, sendo dada por:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{12}}{V_{12}}$$

Onde:

ap é a densidade aparente;

m12 é a massa da madeira a 12% de umidade, em quilogramas;

V12 é o volume da madeira a 12% de umidade, em metros cúbicos.

Ao Avaliar a determinação da densidade, foram extraídos corpos-de-prova com formas prismáticas com seção retangular 2,0x3,0x5,0 cm, em seguida as amostras foram submersas em água destilada para chegar a uma determinada saturação, como mostra na Figura 4. Conforme a NBR 7190/97(B.6.4), as amostras foram retiradas da água cada 6h e pesadas seguindo o mesmo procedimento de cálculo anterior.

Após as duas amostras coletadas, com uma duração de 12 horas chegou a uma variação desejada pela norma brasileira NBR 9170/97. Esses procedimentos foram realizados em seguida em uma planilha eletrônica e realizado o cálculo de densidade básica e densidade aparente para cada madeira de acordo com a norma NBR 7190/79(B.6.2).



Figura 4: Amostra submersa.

Fonte: Autora (2019)

Experimento de resistência à compressão paralela as fibras

Com objetivo de avaliar a eficiência das operações de ensaio, tabulados no anexo E, os níveis de classificação em função do coeficiente de variação dentro do ensaio obtido segundo a metodologia adotada. Esta classificação tem por finalidade a melhoria dos processos de ensaio do laboratório evidenciada pela redução da dispersão. A divulgação da classificação é facultativa, o resultado da resistência à compressão simples deve ser expresso em megapascals, com três algarismos significativos segundo a ABNT NBR 5739/2007.

A resistência à compressão deve ser calculada através da seguinte expressão:

$$f_{co} = \frac{F_{co,m\acute{a}x.}}{A}$$

Onde:

f_{co} é a resistência à compressão paralela as fibras em megapascals;

$F_{co, máx.}$ é a máxima força de compressão aplicada ao corpo-de-prova durante o ensaio, em newtons;

A é a área inicial da seção transversal comprimida em metros quadrados.

Bem como, a resistência à compressão é dada pela máxima tensão que se podem atuar em corpos-de-prova com seção transversal quadrada 5,0x5,0cm e 15,0 cm de comprimento. Foram extraídas 12 amostras de cada espécie estudada dentro desse trabalho, separas por amostras A e B como ilustrada na Figura 5, conforme a NBR 7190/97(B.8.3).



Figura 5: Amostras das espécies angelim-ferro e cupiúba.

Fonte: Autora (2019)

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A classe de umidade tem por finalidade ajustar as propriedades de resistência e de rigidez da madeira em função das condições ambientais onde permaneceram, conforme (Tabela 7- classes de umidade/NBR 7190/1997) ilustrada na Tabela 6. Depois de chegar a massa constante, verificou-se os dados dos modelos A e B de

cada espécie, alcançou-se um valor médio de umidade relativa ambiente de 45% da angelim-ferro e 14,85% da espécie cupiúba de acordo com a Tabela 6 visto que os resultados se encontram em uma classificação de umidade 1 e dentro a umidade de equilíbrio de 12%.

De acordo com Silva e Oliveira (2003), a umidade encontrada nas espécies de angelim-ferro e cupiúba demonstraram características diferentes, contudo não esquecendo que sua classe será classificada de acordo com sua umidade de equilíbrio.

Classes de umidade	Umidade relativa do ambiente U_{amb}	Umidade de equilíbrio da madeira U_{eq}	Angelim-ferro	
			Umidade Amostra A	Umidade Amostra B
1	$\leq 65\%$	12%	Valor Tabelado	$\leq 65\%$
			Valor Médio experimental	42,78% 47,30%
			Erro %	-
			Média das Amostras A, B e margem de erro	45%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%	Cupiúba	
			Umidade Amostra A	Umidade Amostra B
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%	Valor Tabelado	$\leq 65\%$
			Valor Médio experimental	14,31% 14,25%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$	Erro %	-
			Média das Amostras A, B e margem de erro	14,85%

Tabela 6: Tabela adaptada

Fonte: ABNT NBR 7190/1997 e Tabela experimental (Autora-2019)

Ao confrontar os resultados obtidos no presente experimentos de densidade com os realizados pela norma NBR7190/1997 (Anexo E), foi obtido um erro estatístico de 11% da espécie angelim-ferro comparativamente com as tabelas exigidas pela norma e um erro de 31,3% na espécie cupiúba de acordo com a Tabela 7.

Segundo o autor Foelkel (1971), a densidade é um dos estudos mais importantes para chegar nas determinações das propriedades analisadas dentro deste experimento.

DENSIDADE APARENTE		
Angelim-ferro	Angelim-ferro Densidade aparente (kg/m^3) Amostra A	Angelim-ferro Densidade aparente (kg/m^3) Amostra B
Valor Tabelado	1170 ¹	1170 ¹
Valor Médio experimental	1275,9	1310,8
Erro %	9	12
Média das Amostras A, B e margem de erro	1299 (kg/m^3) $\pm 11\%$	
Cupiúba	Cupiúba Densidade aparente (kg/m^3) Amostra A	Cupiúba Densidade aparente (kg/m^3) Amostra B
Valor Tabelado	838 ¹	838 ¹
Valor Médio experimental	1087,9	1111,7
Erro %	29,8	32,70
Média das Amostras A, B e margem de erro	1099,8 (kg/m^3) $\pm 31,3\%$	

Tabela 7: Resultados obtidos pelo experimento e fornecidos pela NBR 7190/1997.

Fonte: Autora (2019)

Na Tabela 8 é apresentado os resultados correspondentes aos valores médios tabelados e experimentais de resistência à compressão paralela as fibras. Conforme ilustrado na tabela 8, pode-se analisar que na amostra A da angelim-ferro o valor tabelado e de 79,5 MPa e o valor experimental de 79,1 Mpa. Os valores obtidos pelas espécies distintas têm uma relevância entre si como é possível observar na tabela inserida. Tanto na angelim-ferro e cupiúba, as propriedades tiveram uma margem de erro médio respectivamente de 1,13% e 13,6%, em que ambas tiveram um valor analisado experimentalmente maior que o valor tabelado pela norma ABNT NBR 7190/1997(Anexo E). Nesse sentido, a pesquisa alcançou os objetivos propostos.

Conforme o autor Melo (1999), a resistência mecânica tem influência quando se relacionada com o teor de umidade, a densidade, a velocidade da aplicação da carga, a duração da carga, defeitos naturais da madeira, lenho juvenil e mesmo a temperatura.

RESISTENCIA A COMPRESSÃO		
Angelim-ferro	P(MPa) Amostra A	P(MPa) Amostra B
Valor Tabelado	79,5 ¹	79,5 ¹
Valor Médio experimenTal	79,1	81,7
Erro %	0,5	2,8
Média das Amosras A, B e margem de erro	80,4MPa ± 1,13%	
Cupiuba	P(MPa) Amostra A	P(MPa) Amostra B
Valor Tabelado	54,4 ¹	54,4 ¹
Valor Médio experimental	58,6	65
Erro %	7,7	19,5
Média das Amosras A, B e margem de erro	61,8MPa ± 13,6%	

Tabela 8: Resultado obtidos pelo experimento e tabelados na NBR 7190/1997.

Fonte: Autora (2019)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de verificar os dados da ABNT NBR 7190/1997 e experimentos realizados em laboratório, encontrou-se a umidade tanto da angelim-ferro e cupiúba. Dessa forma, observou-se que as duas se encontram na classe de umidade 1, pois a sua umidade ambiente deve ser menor ou igual 65% e a umidade de equilíbrio das madeiras se encontram em 12%. Após a coleta dos dados de umidade, foi feito o trabalho de densidade em que o valor tabelado é de 1.170 kg/m³ e o valor encontrado através do experimento prático e teórico foi correlacionado em relação às amostra A 1.275,9 kg/m³ com uma diferença de 9%, com o valor tabelado, e de 12% para amostra B. Diante disso, o valor médio geral da espécie angelim-ferro é de 1.299 kg/m³ para densidade aparente e com uma margem de 11% de erro.

Visto que a cupiúba é uma madeira mais flexível, foi obtido uma média maior que especificada da tabela de anexo E (NBR 7190/1997). No anexo o valor apresentado e de 838 kg/m³ e o valor médio alcançado pelo experimento foi de 1.099,8 kg/m³. Em

relação a resistência à compressão paralela às fibras, examinou-se que quanto maior densidade da madeira, maior a sua resistência à compressão. Da mesma maneira que a angelim-ferro obteve uma diferença de 11% e notou-se um ganho de resistência maior que o especificado da norma 7190/1997. A cupiúba teve uma densidade maior em relação à margem de erro da angelim-ferro, mas também exponencialmente uma carga de resistência à compressão significativa ao valor tabelado da angelim-ferro, todavia também observa-se quanto maior a densidade aparente de material analisado maior é a sua capacidade de resistência à compressão simples, entretanto não muda o seu fator de composição, pois as amostras eram das mesmas dimensões e obtiveram umidades, densidades e resistências diferentes, contudo sua densidade, mesmo com propriedade distintas, tiveram notáveis aumentos na sua resistência à compressão simples.

Por fim, o trabalho tem relevância por contribuir com dados para que futuras pesquisas sejam realizadas com o objetivo de buscar entender se as madeiras estão sendo aplicadas de forma correta nas obras de construção civil. Por conseguinte, fica disponível dados que possam fazer uma correlação entre densidade e a resistência à compressão para assim fazer uma futura equação entre as duas.

REFERÊNCIAS

Associação brasileira de normas técnicas. (1997). NBR 7190: **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro.

Associação brasileira de normas técnicas. NBR 5739 - Concreto - **Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. 2007, 5p.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção**. São Paulo: Blucher, 2011.

BRAZ, E. M. **Subsídios para o planejamento do manejo de florestas tropicais da Amazônia**. 2010. 237 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2010.

ESPÓSITO, Sidnei Sérgio. **O uso da madeira na Arquitetura dos séculos XX e XXI**. Dissertação de Mestrado: USJT – Universidade São Judas Tadeu. São Paulo, 2007.

FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. **Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas**. IPEF, n.2/3, p.65-74, 1971.

LEE, Kyung Mi. Severiano Mário Porto. **A produção do espaço na Amazônia**. Dissertação de Mestrado: FAUUSP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1998.

MASCARENHAS, Paulo Sérgio M. **Madeira como material de construção**. 2008.

MEIRELLES, C. R.; PALA, A. **Apostila de Processo construtivo em madeira**, 2010. p. 67

MEIRELLES, Célia Regina Moretti, et al, **Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais**. 2007.

MELO, J. R. **Secagem de madeiras: teoria e prática de secagem artificial de madeiras**. Lisboa: Estação Florestal Nacional, 1999. p. 381.

PANSHIN, A.J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1970. v.1 705p.

PEREIRA, A. F. **Madeiras brasileiras: guia de combinação e substituição**. São Paulo: Blucher, 2013. 132p.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003 6a Edição.

PINTO, M. L. **Propriedades e Características da Madeira de Teca (Tectonagrandis) em função da idade**. 2007. 124p. Tese (Doutorado em engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S. **Avaliação das propriedades higroscópicas da madeira de EucalyptussalignaSm. em diferentes condições de umidade relativa do ar**. Revista Árvore, Viçosa – MG, v.27, n.2, p.233-239, 2003.

STROETER, João Rodolfo. **Arquitetura e teorias**. São Paulo: Nobel, 1986.

ZENID, Geraldo José. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: IPT, 2009. 99p. (IPT Publicação 3010).

ANÁLISE DOS EFEITOS DA VAZÃO MÁSSICA SOBRE A DEPOSIÇÃO DE INCRUSTAÇÕES EM AQUECEDORES DE LEITE DO TIPO PLACAS PLANAS GAXETADAS

Alex Vazzoler

Universidade de Campinas, Faculdade de Engenharia Química

E-mail para contato: vazzoleralex@hotmail.com

RESUMO: A deposição de incrustações, indiscutivelmente, é um dos maiores desafios enfrentados no projeto, e na operação de equipamentos de transmissão de calor. Esse problema se agrava na indústria de alimentos, devido a necessidade de higienização das operações. Neste trabalho foi verificado o efeito da variação da vazão mássica, estipulada entre 0,7 e 1,12 kg/s, sobre a perda de carga admissível de um trocador de calor do tipo placas sanitárias dentro dos tempos de operação necessários para o recobrimento de 9,1 e 17,7% de sua superfície. Utilizou-se como modelo de deposição de incrustações a correlação de Lalonde e Corrieu. Concluiu-se que, a vazão de leite de 1,08 kg/s atende a todos os critérios hidráulicos e térmicos. Não obstante, inibe a deposição de incrustações durante o período de um ano, ou seja, período usual de parada da planta e limpeza do equipamento.

1 | INTRODUÇÃO

A deposição de incrustações em trocadores do tipo placas durante o processamento de

leite eleva os custos com a operação e afeta a qualidade dos produtos envolvidos. Cientes destes empecilhos, os operadores almejam definir as melhores condições de operação de forma a serem obtidas, as condições mais convenientes nos pontos de vista econômico e sanitário (Khalidia *et al.*, 2015).

Algumas consequências ao executar-se um combate ineficiente a deposição de incrustações é o descumprimento das metas de aquecimento, temperaturas, que ao não serem atingidas, podem afetar as especificações do leite e seus derivados. Cabe salientar que é necessário um grau extremo de assepsia neste tipo de operação, e de modo algum é pertinente a formação de depósitos de incrustações, salinas ou proteicas, nas superfícies dos trocadores de calor e demais equipamentos. Não obstante, a limpeza destes equipamentos consome tempo, conseqüentemente custo de mão de obra, e os produtos utilizados para a limpeza e esterilização, muitas vezes, são nocivos ao meio ambiente e possuem alto custo.

As principais formas de combate a deposição de incrustações na indústria de laticínios são: o uso de superfícies anti-incrustantes e a diminuição de depósitos pela elevação da velocidade de escoamento. Já

que o uso de inibidores de incrustações afetaria as especificações dos produtos, impedindo o seu uso. Ambas as abordagens previamente supracitadas apresentam adversidades. No primeiro caso, o custo deste tipo de material é elevado, o que implica em uma elevação considerável dos custos de aquisição e instalação dos equipamentos. No segundo caso, os custos com bombeamento são ampliados em virtude da elevação da vazão de escoamento. Porém, é um método que pode ser aplicado em plantas em operação, desde que os critérios de perda de carga dos equipamentos sejam satisfeitos (Cao, 2010 e Zhang *et al.*, 2013).

Desafortunadamente, a estimativa do fator de incrustações é muitas vezes feita de forma rudimentar. A abordagem pela qual valores são arbitrados a partir da experiência do projetista ou de tabelas da literatura, cujas condições de obtenção dos valores, em muitos casos, não são explícitas, podem gerar problemas como o subdimensionamento hidráulico. Consequentemente, este tipo de abordagem é insatisfatória para problemas como o descrito neste trabalho, já que na indústria de alimentos há uma grande necessidade de esterilização dos equipamentos e a ocorrência de deposição de incrustações salinas, proteicas ou biológicas pode comprometer o produto (Fryer *et al.*, 1989).

2 | MECANISMO E MODELO MATEMÁTICO DA DEPOSIÇÃO DE INCRUSTAÇÕES

No presente trabalho a formulação do problema ocorre dentro de um trocador do tipo placas para pasteurização de leite. Foi utilizado um modelo cujas hipóteses foram formuladas por *Lalande e Corrieu* (Fryer *et al.*, 1989). Este é um modelo unidimensional e transiente, satisfatório a necessidade de avaliar-se os efeitos hidráulicos sobre a cinética da deposição de incrustações. Este modelo obedece a uma formulação de adsorção endotérmica e inversamente proporcional ao número de Reynolds (Re) conforme a Equação 1 (Zhang *et al.*, 2013):

$$\frac{dBi}{dt} = \frac{k_d}{Re} \exp\left(-\frac{E}{R} \frac{1 + Bi}{T_w + T_b Bi}\right) - k_r Bi \quad (1)$$

O modelo engloba a utilização de um adimensional convectivo transiente, *Biot* (Bi), as temperaturas de parede (T_w) e do fluido (T_b), a energia de ativação de desnaturação da *betalactoglobulina* (E) cujo valor é 92,4 kJ/mol, a constante universal dos gases (R) com o valor de 8,314 J/mol.K e as taxas específicas de adsorção (K_a) e dessorção (K_r) da *betalactoglobulina* (*BTG*) são, respectivamente, $4,85 \cdot 10^{-13} s^{-1}$ e $1,3 \cdot 10^{-3} s^{-1}$. *Biot*, é então definido como a razão entre o produto do coeficiente de película da superfície (h_s) e o comprimento equivalente da placa (L_e) divididos pela condutividade térmica das incrustações (k_i), Equação 2. Cabe salientar, a definição da fração de recobrimento da superfície das placas do trocador

de calor pelas incrustações (δ_I), Equação 3, esta é o percentual de área da placa recoberto com uma camada de incrustações cuja a espessura é maior ou igual a espessura crítica, φ (em μm), estimada através da correlação empírica de Gilbert-Rideau para placas com corrugação de 45° , equação 4 (Fryer *et al.*, 1989).

$$Bi = \frac{h_s L_e}{k_I} \quad (2)$$

$$\delta_I = \frac{Bi}{1 + Bi} \quad (3)$$

$$\varphi = 4,326 \delta_I^{1,32} \quad (4)$$

O mecanismo predominante para a deposição de incrustações no leite entre a faixa de temperatura de 70 a 90°C é a desnaturação da *betalactoglobulina* (BTG). Este processo é iniciado quando o leite é aquecido a temperaturas superiores a 65°C e a estrutura da BTG tornando-se instável gerando o precursor para a incrustação segundo dois possíveis mecanismos: A proteína natural *betalactoglobulina* (*N-Proteína*) é submetida a um processo de desnaturação (mudança de estrutura) tornando-se altamente reativa devido a sua ligação enxofre-hidrogênio, S-H (forma desnaturada da *betalactoglobulina* ou *D-Proteína*). O segundo mecanismo é uma reação de polimerização irreversível, que resulta em partículas insolúveis observadas como agregados de proteína (agregados de *betalactoglobulina*). Já a deposição de incrustações salinas, se deve a solubilidade deste sal ser inversamente proporcional a temperatura. Logo, em superfícies aquecidas ocorrerá a sua precipitação, e conseqüente, adesão (Mahdi *et al.*, 2009).

Baseado na hipóteses supracitadas foram feitas as seguintes considerações para a resolução analítica da Equação 4 (Mahdi *et al.*, 2009) e Khaldia *et al.*, 2015):

1. Na condição inicial, assume-se que a superfície esteja isenta da deposição de incrustações, ou seja, o Número de Biot é nulo ($Bi(0) = 0$);
2. A superfície das placas é considerada plana e perfeitamente lisa, e sua geometria é regular em toda a sua extensão;
3. As propriedades térmicas dos materiais das placas do trocador são consideradas constantes na faixa de temperatura utilizadas;
4. As taxas específicas de adsorção (k_d) e dessorção (k_r) da *betalactoglobulina* (BTG) são consideradas constantes na faixa de temperatura utilizadas;

A partir da resolução analítica da Equação 1, é obtida a Equação 5:

$$\frac{k_d}{Re} t = e^{-E/RT_b} \left[Bi(t) \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT_b} \frac{T_w - T_b}{T_b Bi(t) + T_w}\right) - \frac{E}{RT_b^2} (T_w - T_b) Ei\left(-\frac{E}{RT_b} \frac{T_w - T_b}{T_b Bi(t) + T_w}\right) \right] + \frac{T_w}{T_b} \exp\left(-\frac{E}{RT_b} \frac{1 + Bi(t)}{T_b Bi(t) + T_w}\right) + e^{-K_r t} \quad (5)$$

em que T_w e T_b são as temperaturas da parede da placa e a temperatura do fluido (*bulk*) respectivamente. Ambas as grandezas podem ser relacionadas pela Equação 6, proposta por *Suitor* 1978, válida para escoamentos turbulentos entre placas com espaçamento igual a $2e$. Pr é o adimensional de Prandtl, Equação 7, suas propriedades são calculadas na temperatura de filme (média aritmética de T_w e T_b); Nu_b é o adimensional de *Nusselt*, Equação 8, para as condições bulk do escoamento, cujo o valor para fluidos com baixa viscosidade é de 2000. As demais variáveis são a condutividade térmica (k); a vazão mássica (W); a viscosidade (μ) e a condutividade térmica (k) do líquido em escoamento. As correlações para a estimativa das propriedades termofluidodinâmicas da água e do leite foram retiradas dos trabalhos de Wagner e Kretzsmar (2008), Khan et al. (2010) e Mahdi *et al.* (2009), respectivamente.

$$T_w - T_b = \frac{W_l D_e^2}{15,4k_l} Nu_b^{0,23} \quad (6)$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} \quad (7)$$

$$Nu_b = 0,0566 Re^{0,881} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad \text{para } 500 < Re < 4500 \text{ e } 5,6 < Pr < 8,0 \quad (8)$$

3 I EQUAÇÕES CONSTITUTIVAS DOS CÁLCULOS TÉRMICOS E HIDRAÚLICOS NO TROCADOR DE CALOR TIPO PLACAS

Este trabalho envolve cálculos térmicos que devem ser precedidos pelas estimativas das propriedades fluidodinâmicas. Um trocador de calor do tipo placas sanitárias, com três passes por fluido, deve aquecer leite da temperatura de 30 a 70 °C utilizando-se como fluido quente água de recirculação com temperatura de entrada de 90 °C. Os cálculos devem ser executados para ambos os fluidos para verificar-se se todos os critérios requeridos.

3.1 Cálculo das perdas de carga a partir dos dados do trocador de calor

Os principais fatores que afetam o escoamento em trocadores do tipo placas são: a profundidade (e), a largura (b) e o número de canais em série (n_s), seus valores são: 0,005 m, 0,36m e 10 (Figura 1). Além da vazão mássica (W_l) e densidade (ρ_l) do fluido em escoamento. Suas relações com a velocidade de escoamento do fluido (u_l)

são explicitados pela Equação 9 (Cao, 2010).

$$u_l = \frac{W_l}{\rho_l n_s b e} \quad (9)$$

Outro elemento a ser considerado é o efeito das corrugações; irregularidades na superfície das placas do trocador com o objetivo de aumentar a área de contato entre os fluidos e as mesmas. Este fator (ϕ_a) irá afetar o diâmetro equivalente do canal (D_e), conforme a Equação 10 (Cao, 2010).

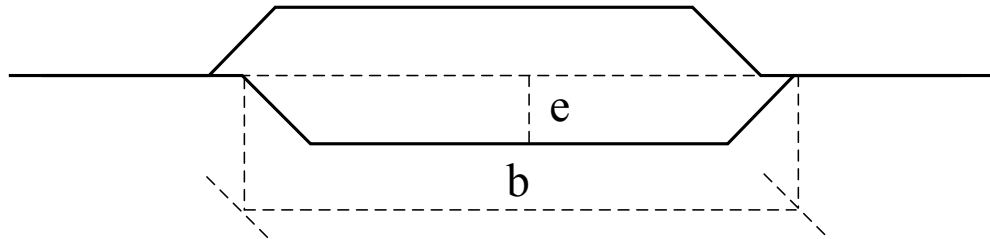


Figura 1. Representação de um canal em trocador de calor do tipo placas com um ângulo de corrugação de 45°.

$$D_e = \frac{2 b e}{(e + b \phi_a)} \cong \frac{2 e}{\phi_a} \quad (10)$$

Algumas consequências estão diretamente relacionadas a utilização de maiores ângulos de corrugação. A primeira, evidenciada pela Equação 11, aponta que placas com maiores ângulos de corrugação operam sobre escoamentos com menor turbulência. Consequentemente, os valores do Fator de Darcy (F_l) e da perda de carga nas placas do trocador (ΔP_p), Equação 9, serão reduzidos (Focke *et al.*, 1989 e Cao, 2010).

$$Re_l = \frac{u_l D_e}{\eta_l} \quad (11)$$

$$\Delta P_p = \frac{2 f_l L_e n_s \rho_l u_l^2}{D_e} \quad (12)$$

Desafortunadamente, sob a perspectiva da transmissão de calor, operar-se o trocador com condições mais amenas de turbulência gera menores coeficientes de transmissão de calor. Portanto, ao ampliar-se a área de troca térmica, com a corrugação, são diminuídos os valores do coeficiente de transmissão de calor, o que gera um antagonismo entre estas duas variáveis. Neste trabalho, foi utilizado o menor ângulo de corrugação em placas sanitárias comerciais, 60° (com um valor de ϕ_a de 1,14), para ampliar-se o intervalo de vazões mássicas admissíveis em relação ao

limite de perda de carga (Focke *et al.*, 1989).

De maneira análoga as placas, ocorre perda de carga nos *headers* do trocador de calor. Esta variável é dependente, em grande parte, do diâmetro dos *headers* (D_h) e da vazão mássica dos fluidos (W_l). Logo, as equações da taxa de vazão mássica (G_h), Equação 14, de perda de carga nos *headers* (ΔP_h), Equação 15, e perda de carga total (ΔP_t), Equação 12, são explicitadas abaixo (Cao, 2010):

$$G_h = \frac{4W_l}{\pi D_h^2} \quad (13)$$

$$\Delta P_h = \frac{1.5 n_s G_h^2}{2\rho_l} \quad (14)$$

$$\Delta P_t = \Delta P_p + \Delta P_h \quad (15)$$

Cabe salientar a relevância da estimativa do custo de bombeamento (C_b) a análise, tendo-se em perspectiva a sua influência nos custos operacionais da planta. O uso da Equação 16 pode ilustrar em quão vantajoso, ou não, é a elevação da vazão de escoamento, ou de perda de carga, dos fluidos.

$$C_b = \frac{cQ\Delta P_t \eta_r}{21917 d_r \xi_b \xi_m} \quad (16)$$

São evidenciados, na equação anterior os dois principais fatores no bombeamento, as propriedades hidrodinâmicas do fluido: a densidade relativa (d_r) e a viscosidade relativa (η_r), ambas definidas como a razão entre a grandeza na condição de escoamento e a água a 15,56 °C (60 °F). E as características mecânicas da bomba, representadas pelo custo do quilowatt-hora (kWh) da eletricidade industrial (c), 415,2 R\$/MWh e pelas eficiências de bombeamento (ξ_b) e do motor (ξ_m) de 0,85 e 0,9.

3.2 Metodologia proposta

3.2.1 Análise de sensibilidade

A primeira etapa nos cálculos é estabelecer uma análise de sensibilidade, variando-se a vazão de escoamento do leite de 0,4 a 1,5 kg/s, calculando-se a temperatura de parede, T_w (em °C) e a espessura crítica da incrustação, φ (μm) Fixando-se o tempo de operação em 1 ano para todos os casos, para avaliar-se os intervalos de valores e a relação gráfica entre as variáveis. Estes dados definirão as margens de estudo para a etapa seguinte.

3.2.2 Cálculos para balanço hidráulico e econômico

A partir das propriedades fluidodinâmicas do leite e da água, das especificações do trocador de calor, e das vazões de mássica de leite e água, relacionadas pelo balanço de energia. Foram selecionadas três variáveis para o cálculo: a vazão mássica de escoamento do leite (W_l), o tempo de operação (t) e a fração de recobrimento da superfície (δ_l). Cabe salientar que a última variável é dependente do número de *Biot*, conforme a Equação 3, e o aumento da deposição de incrustações é proporcional a ambas as variáveis. Logo, quanto maior o valor desses adimensionais, maior a perda de eficiência do trocador.

Na Figura 2 são ilustradas por meio de diagramas as duas abordagens propostas para este trabalho. A primeira abordagem possui um valor de vazão mássica estabelecido por uma condição de operação. Por conseguinte, as variáveis de resposta são a perda de carga e o tempo de operação necessários para atingir-se uma fração de recobrimento da superfície definida como tolerável pelo projetista.

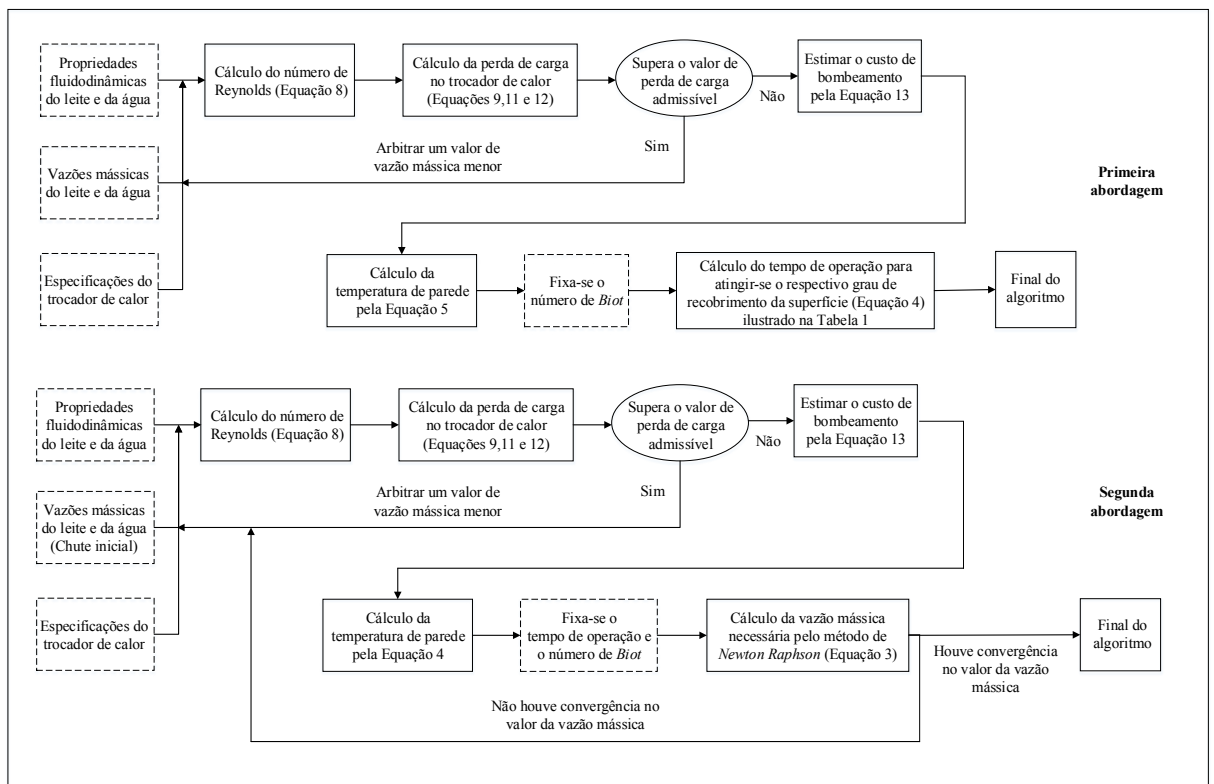


Figura 2. Abordagens utilizadas para análise do efeito da vazão mássica e tempo de operação sobre a perda de carga e a fração de recobrimento da superfície das placas do trocador de calor.

Na segunda abordagem, por outro lado, almeja-se calcular a vazão mássica necessária para que seja atingido uma determinada fração de recobrimento da superfície em um determinado tempo de operação. A principal aplicação desta abordagem é calcular a vazão mássica de leite necessária para atingir-se um *período de indução* (período em que não ocorre deposição de incrustações) de um ano,

período usual de manutenção e limpeza dos trocadores. Porém, pode ser utilizado para serem estimadas vazões para limites de frações de recobrimento aceitáveis, já que muitas vezes, será necessária uma vazão hidraulicamente inviável para atingir-se um período de indução desejado.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os dados de fração de recobrimento da placa, e temperatura de parede da placa, T_w , dentro de um intervalo de vazões de 0,4 a 1,5 kg/s do fluido escoando sobre a placa do trocador de calor. Nota-se que a medida que a vazão é aumentada, ocorre diminuição de ambas as variáveis (resultado esperado, já que a espessura foi definida como função da fração de recobrimento) até ser atingido um patamar de 9,1% por volta de 1,15 kg/s.

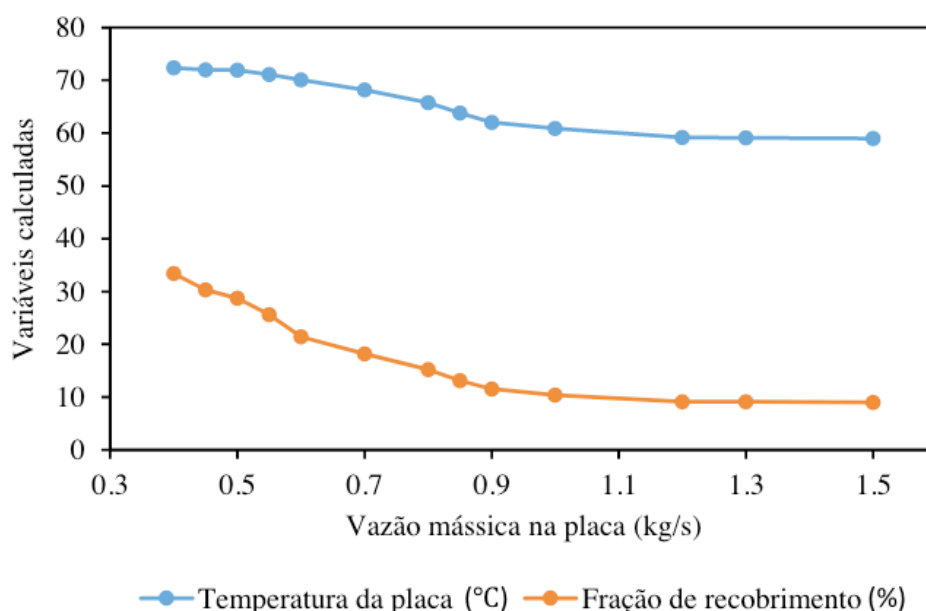


Figura 3. Análise de sensibilidade das variáveis fração de recobrimento, δ_f e temperatura de parede da placa, T_w , em função da vazão mássica em escoamento sobre a placa.

A partir da Figura 3 define-se como intervalos de cálculos as vazões entre 0,7 e 1,15.

A partir das abordagens propostas na Figura 2, nesta ordem, foram erigidas as Tabelas 1 e 2. Na Tabela 1 foram fixados diferentes valores de vazão mássica, para dois números de *Biot*, 0,1 e 0,2. Representando, conforme a Equação 3, frações de recobrimento da superfície de 9,1 e 17,7%

W_1 (kg/s)	$100 \cdot \delta_1$ (%)	C_b (R\$/ano)	ΔP_t (kPa)		t (ano)
			Leite	Água	
0,7	9,1	2750	66,1	96,3	0,759
0,7	17,7	2880	66,1	96,3	0,863
0,85	9,1	3270	81,3	119,0	1,09
0,85	17,7	3430	81,3	119,0	1,22
0,95	9,1	3620	91,5	134,0	1,30
0,95	17,7	3790	91,5	134,0	1,44
1,05	9,1	3960	102,0	150,0	1,50
1,05	17,7	4150	102,0	150,0	1,65
1,13	9,1	4380	110,2	160,0	1,92
1,13	17,7	4380	110,2	160,0	2,19

Tabela 1. Relações entre vazão mássica do leite, custos de bombeamento e tempo de operação para as frações de recobrimento de superfície de 9,1 e 17,7%.

$100 \cdot \delta_1$ (%)	ΔP_t (kPa)		W_1 (kg/s)
	Leite	Água	Leite
17,7	69,3	102,2	0,756
9,1	75	108	0,806
0	105	155	1,08

Tabela 2. Vazões mássicas para percentuais fixos de recobrimento no período de um ano.

Na Tabela 1 foram utilizados diferentes valores de vazão mássica com o objetivo de calcular-se o tempo de operação (t) para dois percentuais de recobrimento das placas e limites de perda de carga de 120 e 160 kPa, para o leite e a água respectivamente. Como esperado, ao elevar-se a vazão mássica, serão elevados os valores do custo de bombeamento, perda de carga e o tempo necessário para a superfície atingir o percentual de recobrimento especificado. Já que a elevação da vazão mássica desfavorece o processo de adesão das proteínas e dos sais. Na Tabela 2, por outro lado, foram calculados os valores de vazão mássica necessários para atingir-se as respectivas frações de recobrimento no período de um ano. Logo, ao operar-se com uma vazão mássica de 1,08 kg/s, valor próximo ao limite de perda de carga, é possível operar-se durante o período de um ano sem a deposição de incrustações. Todavia, há uma elevação no custo de bombeamento para 4260 R\$/ano.

5 | CONCLUSÕES

Foi mostrado que é possível projetar a operação de um trocador de calor, durante o período de um ano, sem a deposição de incrustações, utilizando-se um

modelo adequado para descrever o mecanismo de formação de depósitos em função das características de escoamento. No presente trabalho foi utilizado o modelo de *Lalande e Corrieu*. No exemplo apresentado a vazão mássica necessária para evitar a formação de depósito (1,08 kg/s) é próximo do limite de perda de carga do trocador de calor. Entretanto, a elevação nos custos de bombeamento pode ser contrabalanceada pelos menores custos de manutenção e limpeza.

REFERÊNCIAS

KHAN, T.S.; KHAN, M. S.; CHYU, M. C.; AYUB, C. H. Experimental investigation of singlephase convective heat transfer coefficient in a corrugated plate heat exchanger for multiple plate configurations, *Applied Thermal Engineering.*, v. 30, p. 1058–1065, 2010.

CAO, E. *Heat transfer in process engineering*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2010.

FRYER, P. J. The uses of fouling models in the design of food process plant. *Journal of the society of Dairy Technology.*, v. 42, p. 23-29, 1989.

FOCKE, W.W.; ZACHARIADES, J.; OLIVIER, I. The effect of the corrugation inclination angle on the thermohydraulic performance of plate heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer.*, v. 28, p. 1469-1479, 1989.

KHALDIA, M.; BLANPAIN-AVET, P.; GUÉRIN, R.; RONSE, G.; BOUVIER, L.; ANDRÉ, C.; BORNAZ, S.; CROGUENNEC, T.; JEANTET, R.; DELAPLACE, G. Effect of calcium content and flow regime on whey protein fouling and cleaning in a plate heat exchanger. *Journal of Food Engineering.*, v. 147, p. 68–78, 2015.

MAHDI, Y.; MOUHEB, A.; OUFER, L. A dynamic model for milk fouling in a plate heat exchanger. *Applied Mathematical Modelling.*, v. 33, p. 648-662, 2009.

SUITOR, J. W. Plate Heat Exchanger Fouling Study., *HTRI Report No. F-EX-18*, 1978.

WAGNER, W.; KRETZSMAR, H. *International Steam Tables Properties of Water and Steam Based on the Industrial Formulation IAPWS-IF97*. Berlin: Springer, 2008.

ZHANG, G., LI, G., LI, W.; ZHANG, Z.; LENG, X., TIAN, M. Particulate fouling and composite fouling assessment in corrugated plate heat exchangers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. V. 60, p. 263–273, 2013.

AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE FARINHA DE MANDIOCA (*Manihot esculenta Crantz*) EM COMUNIDADE TRADICIONAL DO MUNICÍPIO DE MACAPÁ-AP E POSSÍVEIS SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS

Roberto Quaresma Santana

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá (IFAP), Campus Macapá, Curso de Tecnologia em Alimentos, Macapá – Amapá, Brasil

Lia Carla de Souza Rodrigues

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá (IFAP), Campus Macapá, Curso de Tecnologia em Alimentos, Macapá – Amapá, Brasil

Jorge Emílio Henriques Gomes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá (IFAP), Campus Macapá, Curso de Tecnologia em Alimentos, Macapá – Amapá, Brasil

Marília de Almeida Cavalcante

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá (IFAP), Campus Macapá, Curso de Tecnologia em Alimentos, Macapá – Amapá, Brasil

RESUMO: Tendo a sua comercialização *in natura* ou beneficiada, a mandioca é um dos principais produtos consumidos na região norte, assumindo dois grandes grupos. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar a produção de farinha de mandioca e possíveis soluções tecnológicas nas comunidades tradicionais no município de Macapá/AP. Foi realizada uma pesquisa nas principais feiras do produtor da cidade de Macapá-AP que ocorrem todas as

semanas, nos dias de terças e quintas-feiras, entre produtores e revededores, além de uma revisão da literatura, tendo o enfoque todas as etapas da produção da farinha de mandioca para justamente observar os insumos e matérias primas utilizadas na produção. Foi observada que há possibilidade de utilizar resíduos naturais ou biomassa como fontes alternativas principalmente em uma das operações unitárias do processo de produção da farinha de mandioca.

PALAVRAS-CHAVE: Farinha de mandioca 1; Biomassa 2; Energia 3.

ABSTRACT: Having its marketing in natura or benefited, cassava is one of the main products consumed in the north region, assuming two large groups. The objective of this research was to evaluate the production of cassava flour and possible technological solutions in the traditional communities in the municipality of Macapá / AP. A research was carried out in the main producer fairs of the city of Macapá-AP occurring every week, in the days of Tuesdays and Thursdays, among producers and growers, as well as a review of the literature, focusing on all stages of cassava flour production in order to observe the inputs and raw materials used in production. It was observed that there is a possibility of using natural residues or biomass as alternative sources mainly in one of the unitary operations

of the cassava flour production process.

KEYWORDS: Cassava flour 1; Biomass 2; Power 3.

1 | INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) desempenha um importante papel na dieta alimentar dos brasileiros, por seu alto teor energético. O Brasil figura como um dos maiores produtores dessa cultura e também como grande consumidor, apresentando em 1999 um consumo de raízes *per capita* de 42,9Kg/hab/ano, enquanto o consumo *per capita* mundial foi de apenas 16,4Kg/hab/ano (FAO, 2003). Segundo Modesto Junior e Alves 2016. A região Norte é composta de sete estados (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), com área de 3.853.577 km², uma população estimada, em 2013, conforme o IBGE (2014), de 16.983.484 habitantes e densidade demográfica de 31 hab./km².

O cultivo da mandioca e a produção de derivados como a farinha e o aproveitamento do amido são importantes atividades econômicas da Agricultura Familiar na região Norte do Brasil e em particular no Estado do Amapá, cuja participação na produção agrícola estadual é superior a 80% do total (MARINI, 2015, p.9).

A farinha é um dos principais produtos da mandioca e um dos componentes essenciais da dieta da população brasileira, notadamente entre os habitantes das regiões Norte e Nordeste (Bezerra, 2006). Segundo Marini, 2015, existem basicamente dois grandes grupos de variedades de mandioca:

- Mandioca industrial (brava ou amarga), também chamada de amargosa, assu, manipeta, mulatinha, maria-mole, puri.
- Mandioca de mesa (mansa ou doce) também conhecida como aipim ou macaxeira, mandi, morandi, mata-fome, vassourinha, branca, guaxupé, cuvelinha e outras.

Os agricultores têm conhecimento que essa divisão é feita em função do sabor amargo da mandioca-brava, que contém maior quantidade do chamado “veneno” da mandioca, capaz de levar até a morte se consumido em altas doses. Esse “veneno” na verdade corresponde a compostos cianogênicos que existem na mandioca e são liberados durante a mastigação (MODESTO JUNIOR; ALVES 2016, p.70). Já na Mandioca de mesa, mandioca mansa, aipim ou macaxeira são denominações de variedades de mandioca com baixos teores de compostos cianogênicos, na polpa das raízes. Pela classificação utilizada pelo Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, as variedades de mesa devem conter menos de 100 ppm de HCN na polpa crua das raízes (MARINI, 2015, p.15).

A farinha tem uso essencialmente alimentar e, além dos diversos tipos regionais, que não modificam as características originais do produto, encontram-se duas formas: a farinha não temperada, que se destina à alimentação básica e

é consumida principalmente nas classes de renda baixa da população; e a farinha temperada (farofa), de mercado mais restrito, mas de maior valor agregado (MARINI *apud* ALVES; VEDOVOTO, 2003, p.15).

O objetivo deste projeto é investigar a produção da farinha de mandioca em comunidades do estado do Amapá, e propor soluções tecnológicas para a melhoria do processo de produção, principalmente com a possibilidade de implementar o uso de biomassa ou resíduos oriundos do próprio processo e de outras biomassas existentes na região.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Os pontos de pesquisa foram a Feira do Produtor da zona Sul, no bairro Buritizal e a Feira do Produtor da zona norte, no bairro Pacoval, por serem os principais pontos de comercialização de produtos hortifrutigranjeiros na cidade de Macapá, onde se concentram produtores e revendedores de várias localidades próximas, onde semanalmente se reúnem para comercializar seus produtos, sempre nos dias de terças e quintas-feiras.

Foram aplicados questionários socioeconômicos junto aos produtores e comerciantes de farinha de mandioca, nas feiras escolhidas, totalizando 17 entrevistados, foi reconhecido que 64% são revendedores, maioria comerciantes da feira do Pacoval, que compram a farinha de produtores de algumas comunidades como: São Joaquim do Pacuí, Matapi, Cajari, Vitória do Jarí entre outros.

Foi verificado que as farinhas comercializadas são as chamadas “seca”, “d’água” ou mista. O transporte utilizado para os produtos são caminhões, coletivos, ou barcos das comunidades produtoras, são normalmente transportados em sacas de 70/80L, que custam até R\$ 280,00, fazendo com que os revendedores busquem o produto por um preço menor comunidades mais distantes.



Figura 1 – Comercialização da farinha em feira, no bairro Buritizal, Macapá/AP.

Os levantamentos também foram realizados junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e a Secretaria de Desenvolvimento Rural - SDR, sendo

que no primeiro órgão, o IBGE, o censo mais recente data do ano de 2006. No caso da pesquisa realizada na SDR, foram cedidos dados sobre o número de produtores, quantidade, equivalente a tonelada, receita e médias dos produtos por maior receita, dos anos de 2014 à 2016.

Produção Comercializada nas Feiras de produtores no estado do Amapá no Ano de 2016.					
Período de 01/01/2016 à 31/12/2016					
N°	Produto	N° de Produtores	Unidade	Quantidade	Equivalente Tonelada
82	Farinha De Mandioca	2.187	Litros	2.289.741	1.533.55
Receita		Receita média por produtor	Produção média por produtor	Preço médio por unidade	Peso médio por unidade KG
R\$ 9.785.527.00		R\$ 4.474.41	1.047	R\$ 4,27	0,6697

Tabela 1 Produção de farinha de mandioca em 2016

Fonte: Adaptado de NMC/COAGRO/SDR. 16/12/2016

2.1 Pesquisa de Campo

A fazenda selecionada para visita foi a do produtor Arri Rosa Ferreira, localizada no distrito do Corre Água, localizado 116 km da capital, onde é cultivada mandioca e macaxeira, além de outros produtos. No local foi observada a plantação de mandioca e macaxeira. A semeadura da mandioca é realizada no mês de junho e novembro, final e início do período de inverno amazônico. Sua colheita depende do preparo da terra, quando se faz mecanização do solo, com máquinas de arados e plantadeira seu período de maturação é de 1 ano e 2 meses, já como plantio manual ela já pode ser colhida com 1 ano de safra, é produzido em média 45 toneladas de mandioca, a colheita é feita alternadamente, colhendo-se a safra de junho e plantando a de novembro. Para que a plantação tenha bom rendimento precisa-se corrigir o solo com produtos adequados para o bom desenvolvimento das plantas.



Figura 2 - Plantação de mandioca.

A casa de farinha é comunitária, sendo que cada produtor paga uma taxa de manutenção de R\$10 por cada saca produzida. O tipo de farinha produzido é, principalmente, a farinha seca, que não passa pelo processo de pubagem, sendo a farinha d'água apenas produzida quando o produtor preferir, além disso, é retirado também o tucupí. A recepção é feita na lateral da casa de farinha, junto com o descascamento e limpeza das raízes. Após a limpeza, a raiz é levada para o triturador, onde é reduzido seu tamanho para facilitar os processos posteriores. Após triturada, a mandioca é passada em uma prensa manual. Logo após a prensagem, ela é coada para a separação das partes desnecessárias para a produção, posteriormente é mergulhada em água quente para amolecimento da raiz. Na segunda trituração é feita a definição do tamanho dos grãos, essa máquina possui telas que vão da maior para a menor granulometria, a escolha do grão é de cada produtor ou por encomenda.



Figura 3 – a) Casa de farinha comunitária do distrito do Corre Água. b) Forno mecânico

O forneamento é feito em máquina industrial, com capacidade de até três sacas, com o tempo de torra de 40 a 50min por saca, ou forno manual, onde leva-se em torno de 1h para a torra por saca. para a produção de 1kg de farinha se utiliza 3kg de mandioca, ou seja, 45ton de raízes para 15ton de farinha. Quando a mandioca é colhida no verão o rendimento é maior 3/1, pois, a raiz está mais consistente, já no inverno seu rendimento cai para 5/6kg de raiz para 1kg de farinha, devido à grande quantidade de água absorvida do solo. A lenha utilizada é oriunda da própria fazenda, a madeira é retirada nas queimadas de limpeza da área para o plantio, são árvores

de capoeira, por exemplo, o Acuanzeiro, que são descartadas ou transformadas em carvão.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uma das possibilidades de viabilidade tecnológica na produção da farinha de mandioca, está ligado a etapa final da produção, o forneamento, onde a farinha é submetida ao calor em um tacho de ferro ou cobre, para a cocção e “espocamento”, levando ao resultado final uma farinha com a cor, forma e textura característica. Nesta etapa observa-se a utilização de lenha ou carvão, geralmente retiradas das terras do próprio produtor, causando impacto ambiental, tanto no desmatamento, como de geração de gases com a queimada das áreas e consequente fumaça para atmosfera, e nesse processo, podendo causar danos a saúde do produtor.

Sendo uma alternativa a utilização de resíduos naturais ou biomassas, contribuindo para diminuição da extração de madeira para lenha. Segundo Alves, Modesto Junior (2017), os resíduos da agricultura e da agroindústria podem ser utilizados como fonte de energia para aplicações, até mesmo no próprio estabelecimento.

O produtor Arri afirma que por um determinado tempo, houve uma escassez de lenha devido a implantação do Programa de Produção Integrada (PPI) em 2015, recorrendo á utilização de plantio mecanizado, sem a queima ou roça, viabilizando ainda a implantação no processo de forneamento os caroços de açaí e o resíduo da mandioca, como substituição de lenha, essas biomassas são abundantes no processo do cultivo da mandioca e pela cultura de utilizar o açaí na dieta alimentar da região norte.

3.1 Resíduos de Mandioca

O aproveitamento da mandioca está praticamente todo centralizado na comercialização de suas raízes *in natura*, fabricação de farinha e industrialização da fécula e a parte aérea é deixada no campo após a colheita, composta pela cepa (base do caule com 20 a 30 cm, de aspecto lenhoso, usado para arranquio manual das raízes) ramos grosso da parte mediana da planta (cerca de 20% são usados como manivas sementes para novos plantios por meio de propagação assexuada), ramos finos e folhas (ALVES; MODESTO JUNIOR, 2017. p.20).

Os resíduos da colheita da mandioca deixados no campo, apresentaram características gerais próximas as biomassas da espécies lenhosas e de gramíneas, com o poder calorífico superior a 17,21 MJ.kg¹ e podem ser utilizadas como fonte de energia por meio e combustão. Segundo Alves e Modesto Junior (2017), os ramos grossos (parte mediana da planta) que não forem aproveitados para novos plantios, as cepas poderiam ser utilizadas como biomassa para geração de energia ou queimados nos fornos para fabricação de farinha, reduzindo assim o uso de lenha

oriundo do desmatamento das áreas.

3.2 Caroços de Açaí

Carneiro *et al* (2013) diz, Açaizeiro (*euterpe oleracea Mart*) é uma palmeira que ocorre em várias regiões da Amazônia, sendo que a procura pela polpa dos frutos para produção de sorvetes, licores, xaropes, e outros produtos, vem sendo alavancado devido ao seu delicioso sabor e o elevado potencial energético. Além da polpa, o açaizeiro oferece diversas possibilidades de aplicação de produtos e subprodutos, o que o caracteriza a planta com imenso potencial para exploração de maneira sustentável (CARNEIRO *et al* 2013, p.50).

Componente	Produtos e subprodutos
Gema Apical	Palmito para alimentação humana e ração animal
Folhas	Cobertura de casas, parede, cesto, tapetes, chapéu, esteira, adorno caseiro, celulose, ração animal, adubo orgânico, cobertura morta e sombreamento de sementeiras e peçonhas.
Frutos Polpa	Alimento, suco, creme, sorvete, licor, geleia, mingau, pudim, produção de álcool, Frutos pigmento para tintas, produção de energia
Caroço	Adubo orgânico, carburante e aterro
Cacho(inflorescência)	Vassoura, artesanato e adubo orgânico
Estipe (caule)	Construção civil, construções rurais, lenha, adubo orgânico, celulose, isolamento térmico e pequenas armadilhas
Raízes	Vermífugo
A planta	Paisagismo.

Tabela 2 – Usos do açaí.

Em Macapá se observa um grande consumo de açaí, e com esse consumo gera-se resíduos que são descartados na lixeira pública ou em terrenos baldios próximos às amassadeiras. Assim podendo-se analisar em pesquisas anteriores a viabilidade deste recurso.



Figura 4 – Caroço de açaí beneficiado usado para carvão, adubo etc.

Fonte: <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/3826001/caroco-de-acai-beneficiado>

Segundo Modesto Junior e Alves, 2015, observou-se melhor uniformidade no

aquecimento dos fornos queimando semente de açaí com ventilação forçada de ar e menor produção de fumaça em comparação com a queima de lenha usada anteriormente. (MODESTO JUNIOR; ALVES, 2015, p.168).

Segundo Modesto Junior e Alves, 2015. A substituição da lenha pelo caroço de açaí foi importante na redução do custo de produção em razão do preço elevado e da dificuldade crescente de acesso a lenha pelas restrições ambientais.

Análises químicas do caroço de açaí feitas por Nagaishi (2007) demonstraram alto teor de carbono fixo (20,94%) e baixo teor de cinzas (1,47%) com poder calorífico de 4.252kcal/kg, cujas características são consideráveis e adequadas para uso como produto energético de diversas formas, destacando-se a elétrica e carvão vegetal (MODESTO JUNIOR; ALVES, 2015, p.169).

4 | CONCLUSÕES

O estudo apresentado revelou que existe total possibilidade de utilizar resíduos naturais ou a biomassa para o fornecimento de calor na etapa final da produção da farinha de mandioca, no forneamento, sem que haja contaminação do produto, mesmo sendo produzidas em ambientes com poucos recursos tecnológicos, mantendo assim, a qualidade da farinha de mandioca, essa viabilidade é amplamente possível pois, apresenta características importantes como a mitigação dos impactos ambientais, oriundos das queimadas das áreas onde tem arvores nativas das comunidades e a outra é o incremento tecnológico de aporte utilizando as biomassas como insumos energéticos no processo de torração nos fornos das comunidades produtoras de farinha.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. N. B.; MODESTO JUNIOR, M. S. **Demanda de lenha para torragem de farinha de mandioca nos Biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga**. Embrapa Amazônia Oriental. 2017. Disponível em:<https://www.embrapa.br/web/mobile/publicacoes/-/publicacao/1062502/demanda-de-lenha-para-torragem-de-farinha-de-mandioca-nos-biomas-amazonia-cerrado-e-caatinga>.

Bezerra, Valéria Saldanha. **Farinhas de mandioca seca e mista** / Valéria Saldanha Bezerra. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

CARNEIRO, J.S. CAVALCANTE, B.S. SILVA, M. D.B. & SILVA, R. S. (2013) **Estudo de viabilidade do aproveitamento energético da queima de caroços de açaí produzidos no município de Castanhal-Pará**. Amazônia em Foco, Castanhal, v. 2, n.2, p. 47-63, jan./jun., 2013.

MARINI, José Adriano. **Varietades Caboclas de Mandioca para o Cultivo no Amapá**. 2015 Disponível em:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/140165/1/CPAF-AP-2015-DOC-90-Varietades-caboclas-mandioca.pdf>.

SILVA, I. T. D., SILVA, I. M. O. D., & ROCHA, B. R. P. D. (2002). **Geração de energia a partir de resíduos de mandioca para agricultura familiar no Estado do Pará**. *Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural*.

AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE MACROTEXTURA E DRENABILIDADE EM DUAS PISTAS DE POUSO NA REGIÃO DO VALE DO ARAGUAIA

Thamires Ferreira da Silva

Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra Barra do Garças – Mato Grosso

Lucas Jorge Freitas Marinho

Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra Barra do Garças – Mato Grosso

Augusto Romanini

Universidade de Cuiabá, Faculdade de Ciências Sociais e Aplicadas de Sinop
Sinop – Mato Grosso

Raul Tadeu Lobato Ferreira

Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra Barra do Garças – Mato Grosso

RESUMO: Nos últimos anos o transporte aéreo cresceu significativamente no nosso país, e como consequência disso a preocupação com a ocorrência de acidentes envolvendo aeronaves também é crescente. Dentro desse contexto a condição de aderência pneu-pavimento é um parâmetro que permite a avaliação do desempenho quanto à segurança e que pode ser expressa e avaliada por meio das condições de textura superficial. As condições de textura superficial contribuem no processo de frenagem e consequentemente no pouso de aeronaves. Associada à textura, a

capacidade drenante também é um parâmetro importante nas condições de segurança, pois se associa com a probabilidade de ocorrência do fenômeno de hidroplanagem. No presente trabalho foram realizados ensaios de mancha de areia e de drenabilidade, que permitiram avaliar os parâmetros de textura e capacidade drenante nas pistas de pouso e decolagem de dois aeroportos da região do Vale do Araguaia, verificando os resultados de acordo com as normas específicas. Com base nos dados coletados foi possível verificar que as duas pistas de pouso satisfazem o limite mínimo exigido pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) referente às condições de macrotextura. Através dos resultados obtidos com a realização do ensaio de drenabilidade se observa que a capacidade drenante do aeródromo em Aragarças-GO é maior que em Barra do Garças-MT. Correlacionando os dados obtidos com a realização dos dois ensaios nas duas pistas de pouso foi obtida uma relação satisfatória no que diz respeito ao coeficiente de explicação.

PALAVRAS-CHAVE: Macrotextura, Drenabilidade, Pavimento Aeroportuário, Segurança Viária.

EVALUATION OF THE RELATION BETWEEN
MACROTEXTURE AND DRAINABILITY IN

ABSTRACT: In recent years, air travel has grown significantly in our country, and as a result the concern with the occurrence of accidents involving aircraft is also increasing. Within this context the condition of tire-pavement grip is a parameter that allows the evaluation of the safety and performance that can be expressed and evaluated through the superficial texture conditions. The conditions of surface texture contribute to the process of braking and landing of aircraft. Associated with the texture, the draining capacity is also an important parameter in safety conditions, are associated with the probability of occurrence of the phenomenon of hydroplaning and spinning out. In the present work were carried out tests of sand and stain drenabilidade, which enabled to evaluate the parameters of texture and draining capacity on the tracks of landing and take-off of two airports in the region of Vale do Araguaia, verifying the results of accordance with specific standards. Based on the data collected, it was possible to verify that the two runways satisfy the minimum limit required by the National Civil Aviation Agency (ANAC) and the National Department of Transport Infrastructure (DNIT) concerning conditions of macrotexture. Through the results obtained with the implementation of drenabilidade noted that the draining capacity of the airfield at Aragarças-GO is greater than in Barra do Garças-MT. Correlating data obtained with the realisation of the two trials in the two runways was obtained a satisfactory relationship with regard to coefficient of explanation.

KEYWORDS: Macrotexture, Drainability, Airport Pavements, Road Safety.

1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o uso do modal aeroviário brasileiro vem crescendo principalmente no que diz respeito ao transporte interestadual de passageiros, aproximadamente 20%, enquanto o modal rodoviário obteve uma queda de 10% no transporte de passageiros nos últimos seis anos, segundo o Ministério dos Transportes (2017). Sabe-se que esse modal possui grandes vantagens de utilizá-lo, sendo a segurança e a rapidez um grande diferencial se comparado a qualquer outro modal.

Com o crescimento da movimentação de passageiros por esse modal, e consequentemente o aumento do volume de tráfego, a segurança viária é imprescindível, e ela está relacionada diretamente com as condições de infraestrutura do pavimento, as condições meteorológicas, a aeronave e os pilotos. O pavimento aeroportuário tem que ser capaz de resistir às solicitações de esforços muito superiores em relação ao pavimento rodoviário, dado a grande diferença de peso entre uma aeronave e um automóvel popular.

As características superficiais de um pavimento possuem uma grande importância quando se fala em segurança viária, visto que são elas que mantêm uma condição de aderência entre o pneu da aeronave e o pavimento, devendo apresentar bons níveis de atrito, principalmente em condição de pista molhada. Nas últimas décadas a medição da textura do pavimento tem sido de fundamental importância para as

questões de segurança, pois auxiliam no monitoramento das condições de superfície evitando que o pavimento atinja níveis críticos de desempenho (RIBEIRO, 2012).

Neste trabalho foram avaliadas as condições de textura superficial de duas pistas de pouso por meio do método da mancha de areia e do ensaio de drenabilidade, que se correlacionam e permitem um maior detalhamento do estado de conservação das pistas. Por meio dos resultados obtidos foi possível avaliar e caracterizar a textura superficial do pavimento, analisar a capacidade drenante e sugerir intervenções para melhoria de desempenho quando necessário.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Local de pesquisa

Este trabalho analisou a superfície das pistas de pouso e decolagem de dois aeroportos da região do Vale do Araguaia, sendo um localizado na cidade de Barra do Garças- MT e outro na cidade de Aragarças- GO. A pista do aeroporto de Aragarças (SJVO) possui revestimento asfáltico com 1010 m de extensão e 30 m de largura. A Figura 1 apresenta a vista aérea do aeroporto.



Figura 1- Vista aérea do aeroporto Municipal de Aragarças- GO (SJVO)

Fonte: Adaptado de Google Earth (2019)

O aeroporto Municipal de Barra do Garças (SBBW) é o maior aeroporto da região leste de Mato Grosso e o único que possui voos diretos com as capitais Cuiabá-MT e Goiânia- GO. A pista do aeroporto possui 1598 m de extensão, 30 m de largura, também revestida com material asfáltico. A Figura 2 mostra a vista aérea do aeroporto.



Figura 2- Vista aérea do Aeroporto Municipal de Barra do Garças- MT (SBBW)

Fonte: Adaptado de Google Earth (2019)

2.1 Localização dos pontos

A realização dos ensaios de mancha de areia e de drenabilidade foram feitos em estações de ensaio definidas com base nas recomendações da resolução 236 da ANAC (2012), sendo definidos em cada pista dois trechos de 550,00 m abrangendo as cabeceiras das pistas de pouso e decolagem. As estações foram locadas a 3m (três metros) do eixo da pista, partindo das cabeceiras da pista de forma alternada a cada 100m (cem metros), à esquerda e à direita do eixo. Cada estação foi definida com 1,00 m de comprimento e 1,00 m de largura conforme esquematizado na Figura 3. Para cada trecho foram locadas 12 estações de ensaio.

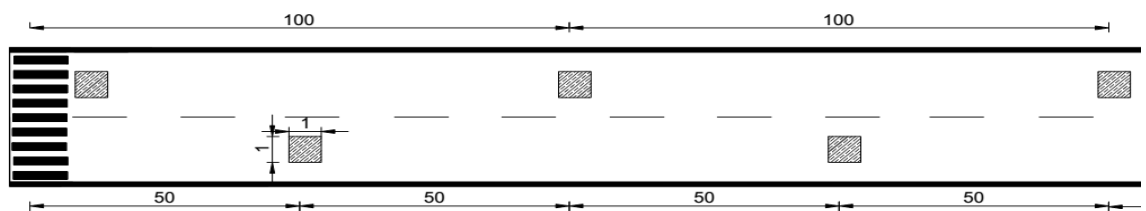


Figura 3- Disposição do pontos de ensaios do método Mancha de Areia e Drenabilidade

Fonte: Arquivo pessoal (2019)

2.2 Ensaio de mancha de areia

O ensaio de mancha de areia foi realizado seguindo as recomendações da *American Society of Testing and Materials* (ASTM) (2006) e da ANAC (2012). Os materiais utilizados no ensaio de mancha de areia estão apresentados na Figura 4, sendo: (1) areia limpa e seca, passante na peneira #50 (0,3 mm) e sendo retida na peneira #100 (0,15 mm); (2) Espalhador/ Cilindro metálico com volume interno de 25.000 mm³; (3) Trena; e (4) Pincel.



Figura 4- Materiais do ensaio da mancha de areia

Fonte: Adaptado de Sousa (2017)

Para a caracterização da macrotextura dos pavimentos aeroportuários definidos como objeto de estudo nessa pesquisa, o volume de areia previamente medido é espalhado sobre o pavimento com auxílio de um disco emborrachado, com movimentos circulares e uniformes, preenchendo os vazios da superfície para obter uma área final aproximadamente circular. Mede-se o diâmetro da “mancha” obtida em quatro direções com aproximação visual de 5 mm; e o diâmetro médio (D_m), é o resultado da média aritmética simples das quatro medições (ASTM, 2006). A altura da mancha de areia (H_s) é obtida pela Equação 1.

$$H_s = \frac{V}{A} = \frac{4 \times V}{D_m^2 \times \pi} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

V : volume de areia de 25000 mm³;

D_m : diâmetro médio da mancha de areia (mm);

H_s : altura média da mancha de areia (mm).

A ANAC (2012) determina o mínimo de três manchas de areia para cada estação de ensaio. A média das três determinações resulta na macrotextura da estação, e a média de todos os pontos aferidos indica a macrotextura média da pista. A classificação da macrotextura é definida pela altura média da mancha de areia, conforme a Tabela 1. De acordo com o DNIT (2006) e Bernucci et. al. (2008), o recomendado é que a altura média de mancha de areia em pavimentos asfálticos esteja na faixa entre 0,6mm e 1,2mm. Para aeródromos a ANAC determina que a altura média de mancha de areia seja mantida maior ou igual a 0,6mm em pistas de pouso e decolagem operantes.

Classificação	Profundidade- H_s (mm)
Muito fechada	$H_s \leq 0,2$
Fechada	$0,2 < H_s \leq 0,4$
Média	$0,4 < H_s \leq 0,8$
Aberta	$0,8 < H_s \leq 1,2$

Tabela 1- Classificação da macrotextura segundo a ANAC

Fonte: ANAC (2012)

2.3 Ensaio de drenabilidade

Para a realização do ensaio foi utilizado o drenômetro construído por Guerra (2018). O aparelho é composto por um corpo principal medidor de vazão, que consiste em um cilindro transparente aberto na parte superior com marcações que delimitam o volume de água ensaiada de 700 ml, conforme ilustrado na Figura 5.



Figura 5- Drenômetro

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A base do equipamento possui uma abertura de 5 cm de diâmetro e um anel de borracha lisa, que possui a função de simular a atuação de um pneu com os sulcos desgastados. Para a vedação da abertura foi utilizado um êmbolo de borracha, no qual foi fixada uma haste metálica. Após limpeza e molhagem da área de ensaio, posiciona-se o equipamento sobre o pavimento com o êmbolo vedando a abertura de descarga de água, e de forma que o anel de borracha fique completamente apoiado no pavimento. Enche-se o drenômetro com água até um pouco acima da primeira marcação, liberando o tampão do fundo.

O cronômetro é acionado no instante em que o nível de água passa pela primeira marcação do tubo e parado quando o nível de água passa pela segunda marcação, obtendo o tempo de escoamento com precisão de 0,01 segundos. Adaptando as recomendações da norma E-2380 (ASTM, 2009) em cada estação foram feitas quatro repetições em um ponto aleatório, sendo a média aritmética simples dos três últimos valores obtidos o tempo de drenagem médio da estação. A primeira determinação foi realizada para molhagem da superfície do pavimento sendo desconsiderada na determinação do tempo de drenagem médio.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As coletas de dados foram realizadas no mês de Janeiro de 2019. Os resultados obtidos para macrotextura pelo método da mancha de areia e de drenabilidade nos aeroportos de Aragarças- GO e Barra do Garças-MT, estão apresentados de forma mais detalhada nas planilhas do apêndice A. Para cada aeródromo os resultados do ensaio da mancha de areia foram obtidos através da realização de 72 determinações e os resultados do ensaio de drenabilidade também foram obtidos por meio da realização de 72 determinações.

3.4 Ensaio de mancha de areia

O primeiro aeroporto em que foram feitas as medições foi o aeroporto da cidade de Aragarças-GO, os resultados obtidos do ensaio da mancha de areia na cabeceira 01 da pista estão expostos na Figura 6. De acordo com a Figura 6 apesar de todos as estações atenderem ao limite mínimo recomendado pela ANAC (0,6 mm), nenhuma estação possui textura que se enquadre no intervalo ideal recomendado pelo DNIT (2006) e por Bernucci et. al. (2008). A altura média de mancha de areia para essa cabeceira é de 2,3 mm, sendo que a textura superficial desse trecho é classificada como muito aberta.

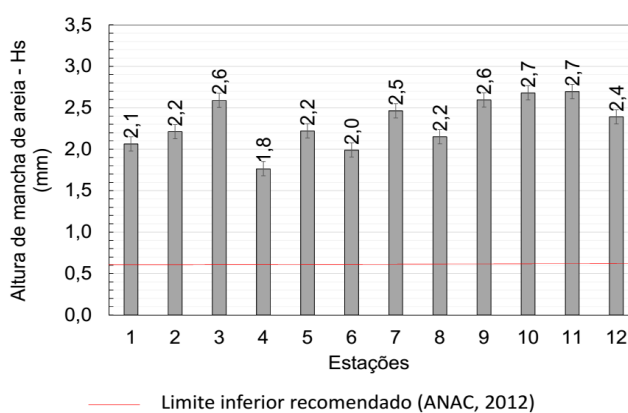


Figura 6- Altura de mancha de areia por estação (Aragarças-GO: Cabeceira 01)

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Os resultados obtidos do ensaio da mancha de areia para a cabeceira 28 estão expostos na Figura 7. Assim como a cabeceira 01, a cabeceira 28 possui valores além do recomendado para a altura da mancha de areia, sendo que o menor valor de textura média obtido nesse trecho foi de 2,3 mm. A altura média da mancha de areia para a segunda seção analisada é de 2,8 mm, sendo classificada de acordo com a ANAC (2012) como muito aberta.

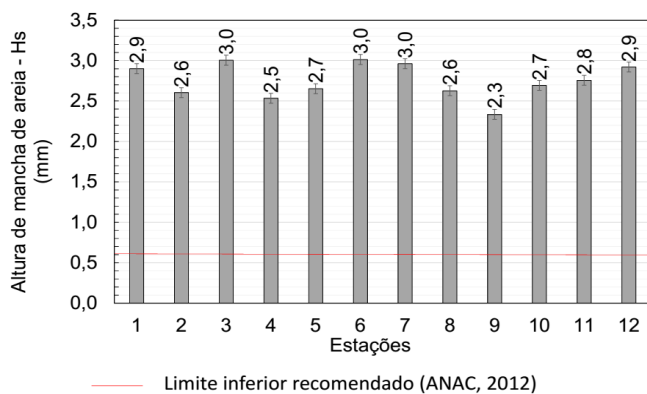


Figura 7- Altura de mancha de areia por estação (Aragarças-GO: Cabeceira 28)

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Avaliando os valores de altura de mancha de areia obtidos e comparando os valores de textura média para cada uma das cabeceiras percebe-se que a cabeceira 01 é a mais solicitada. Ainda pode-se notar que os menores valores da mancha de areia estão localizados no início das cabeceiras. Segundo Rodrigues Filho (2006) essa é a região em que ocorrem todos os auxílios ao pouso, conduzindo a aeronave a tocar as pistas em seu eixo na região situada a uma distância de 300 m da cabeceira de pouso, sendo conhecida como zona de toque ou área de toque.

Analisando as duas cabeceiras da pista de pouso do aeroporto de Aragarças, a altura média de mancha de areia da pista é de 2,5 mm, classificada como muito aberta, atendendo ao mínimo de 0,60 mm recomendado pela ANAC (2012). Além de garantir uma boa capacidade drenante uma macrotextura muito aberta também se relaciona com altos níveis de atrito por histerese. Entretanto, Bernucci et al. (2008) recomendam que os valores da macrotextura dos pavimentos asfálticos devem estar na faixa de intervalo entre 0,6 mm e 1,2 mm de altura média da mancha de areia, pois a macrotextura acima de 1,2 mm, a textura muito aberta, causa desgaste excessivo nos pneus, maior consumo de combustível e tendência a maior ruído ao rolamento.

No aeroporto de Barra do Garças-MT a primeira cabeceira a ser realizadas o ensaio da mancha de areia foi a 07, os resultados obtidos estão expostos na Figura 10, na qual pode ser observado que todas as estações estão dentro do recomendado pela ANAC (2012). A altura média de mancha de areia para essa cabeceira é de 0,8 mm, sendo a textura superficial desse trecho classificada como média, devido à altura média da mancha estar no intervalo de 0,4 e 0,8 mm.

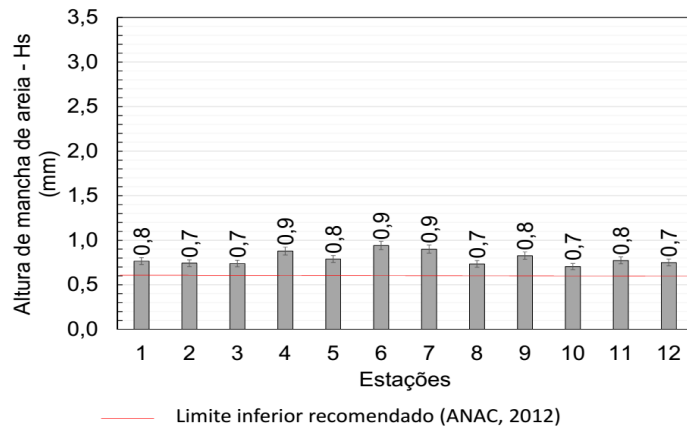


Figura 8- Altura de mancha de areia por estação (Barra do Garças-MT: Cabeceira 07)

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Os resultados obtidos do ensaio da mancha de areia para a cabeceira 25 estão expostos na Figura 9. Assim como a cabeceira 07, a cabeceira 25 possui valores medianos para a altura da mancha de areia, sendo o maior valor encontrado nesse trecho de 0,8 mm, o valor da altura média da mancha de areia para a segunda seção analisada é de 0,7 mm, sendo classificada de acordo com a ANAC (2012) como macrotextura média.

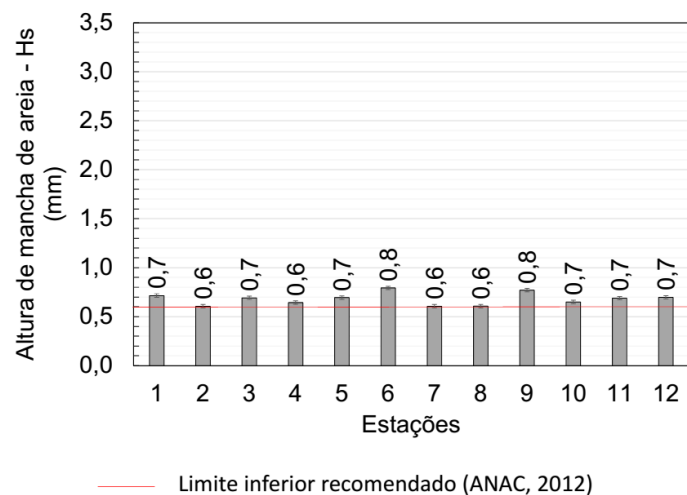


Figura 9- Altura de mancha de areia por estação (Barra do Garças-MT: Cabeceira 25)

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Analisando os dados obtidos nas duas cabeceiras da pista de pouso do aeroporto de Barra do Garças, a altura média de mancha de areia da pista é de 0,7 mm, classificada como uma pista de pouso que possui uma macrotextura média. O valor da macrotextura do pavimento se encontra acima do mínimo de 0,6 mm recomendado pela ANAC (2012), além de estar dentro do intervalo de 0,6 e 1,2 mm de altura média da mancha de areia, recomendado por Bernucci *et al.* (2008).

O gráfico apresentado na Figura 10 reúne valores de macrotextura de outros aeroportos da região Centro-Oeste do Brasil, também obtidos pela realização do ensaio da mancha de areia.

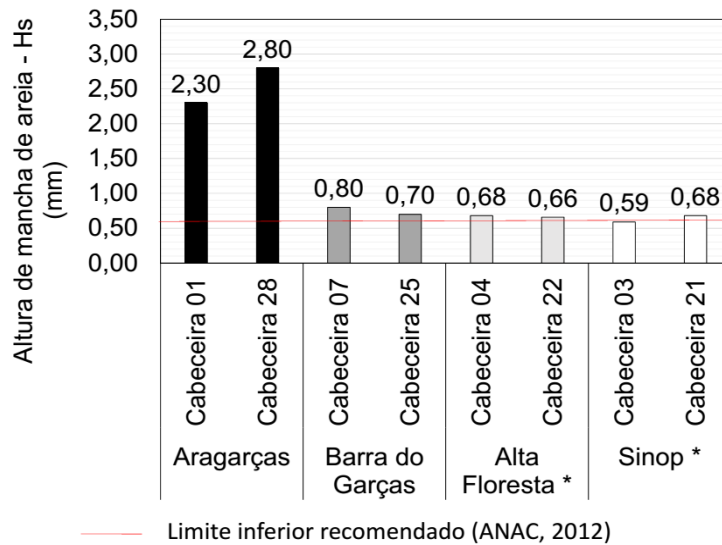


Figura 10- Comparação entre os valores de macrotextura de pista da região centro-oeste do Brasil

*Valores obtidos por Vedana e Dalla Riva (2015)

Fonte: Arquivo pessoal (2019)

Nessa figura é possível observar que ao serem comparadas em conjunto, há um padrão entre os valores médios da altura de mancha de areia obtidos para as cidades de Alta Floresta, Barra do Garças e Sinop, estando dentro do intervalo de 0,4 e 0,8 mm, sendo classificadas como aeroportos que possuem um pavimento com macrotextura média. A única cidade que possui valores distantes dos demais é a cidade de Aragarças, tendo uma diferença de 2,21 mm para o menor valor encontrado entre as cabeceiras.

3.5 Ensaio de drenabilidade

Os valores encontrados do ensaio de drenabilidade para a cabeceira 01 estão contidos na Figura 11, o resultado do ensaio é referente à vazão, sendo a unidade de medida em litros por segundo.

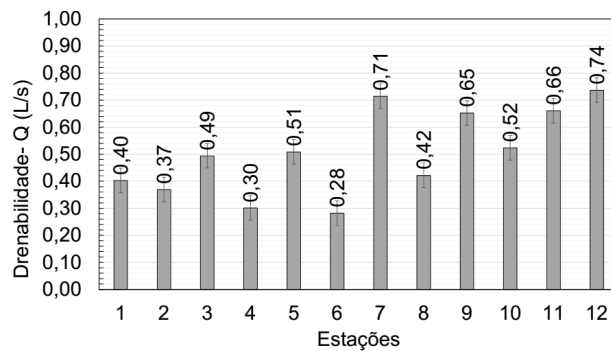


Figura 11- Drenabilidade por estação (Aragarças-GO: Cabeceira 01)

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

A média dos valores de cada estação para a primeira cabeceira analisada (01) foi de 0,51L/s. Nas primeiras seis estações é possível perceber que as vazões encontradas foram inferiores do restante das estações, este fato pode estar associado aos desgastes constantes que a zona de toque sofre devido às operações de pouso e decolagem. Esses valores encontrados para o ensaio de drenabilidade, apresentam conformidade com os resultados do ensaio de mancha de areia, mostrando vazões maiores para macrotexturas maiores, devido a macrotextura do pavimento ser muito aberta e permitir a percolação mais rápida da água no pavimento.

Os dados referentes a segunda cabeceira ensaiada no aeroporto de Aragarças-GO (28), estão expostos na Figura 12. A média da drenabilidade para a cabeceira 28 foi de 0,53 L/s, semelhante ao valor da vazão encontrada para a cabeceira 01. Assim como verificado na cabeceira 01, os valores de vazão se correlacionam com os valores de altura de mancha de areia na estação.

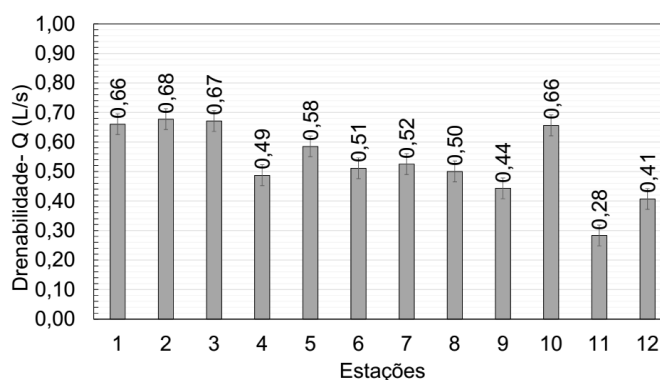


Figura 12- Drenabilidade por estação (Aragarças-GO: Cabeceira 28)

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Em uma análise comparativa entre as cabeceiras, percebe-se que os menores valores de vazão foram encontrados no início da cabeceira 01, este fato se correlaciona com a análise dos valores de macrotextura. Ainda segundo a administração do

aeroporto, essa é a cabeceira mais utilizada nas operações de pouso e decolagem, o que justifica um maior desgaste e os resultados obtidos. A vazão média da pista de pouso da cidade de Aragarças é de 0,52 L/s, e correlacionado à macrotextura muito aberta da pista esse valor sugere uma boa capacidade drenante.

Os dados obtidos para a cabeceira 07 da pista do aeroporto em Barra do Garças-MT, apresentados na Figura 13, mostram que a cabeceira possui baixos valores de vazão, com valor médio de 0,11L/s.

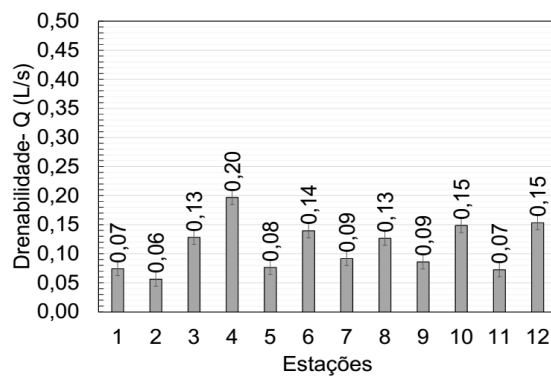


Figura 13- Drenabilidade por estação (Barra do Garças-MT: Cabeceira 07)

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Os valores encontrados para o ensaio de drenabilidade, apresentam similaridade com os resultados do ensaio de mancha de areia. Se comparada à pista do aeroporto de Aragarças as vazões verificadas são menores visto que a pista possui uma macrotextura mais fechada, e conseqüentemente, a percolação é mais lenta. Conforme apresenta a Figura 14, a cabeceira 25 apresenta valores de vazão menores, com um valor médio de 0,09 L/s.

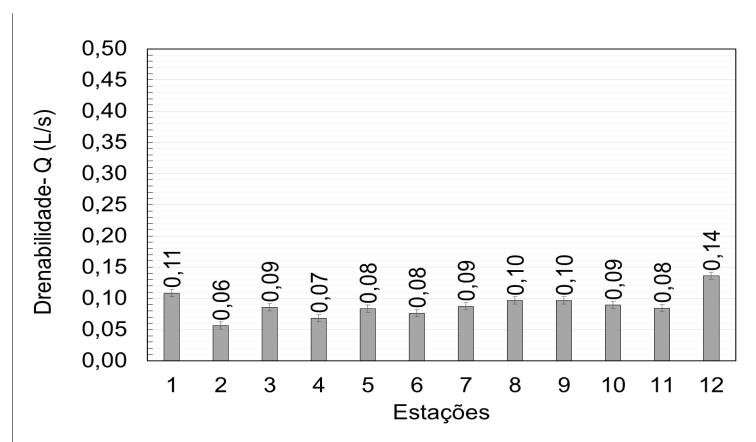


Figura 14- Drenabilidade por estação (Barra do Garças-MT: Cabeceira 25)

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

3.6 Correlação entre altura média da mancha de areia e drenabilidade

Correlacionando os dados obtidos nos ensaios realizados nas duas pistas de pouso e decolagem dos aeroportos da região do Vale do Araguaia, foi obtida a relação mostrada na Figura 15. Ao utilizar os valores referentes aos dois aeroportos em conjunto, foi obtido um valor de $R^2 = 0,856$, indicando uma boa correlação. Com a equação obtida pela correlação é possível determinar a altura da mancha de areia, em mm, sendo realizado somente o ensaio de drenabilidade para as pistas ensaiadas e servindo como base de dados para o comparativo com outros trabalhos que venham a ser realizados em outros aeroportos da região Centro-Oeste ou até mesmo no Brasil.

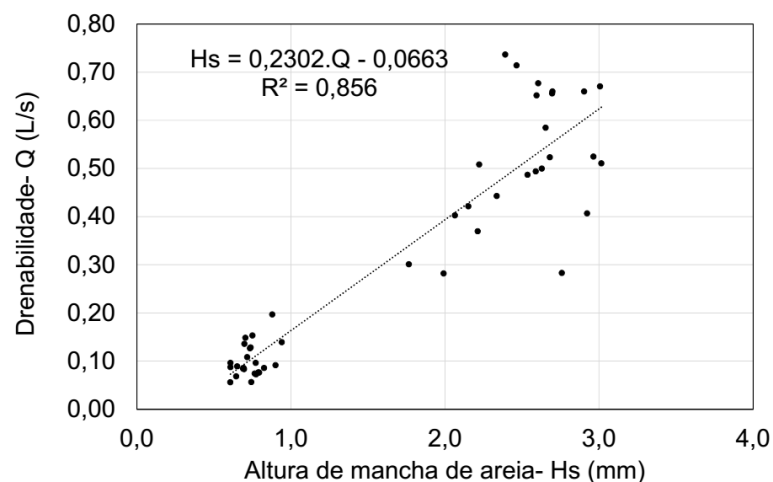


Figura 15- Correlação dos dois aeroportos da região do Vale do Araguaia

Fonte: Arquivo pessoal (2019)

4 | CONCLUSÕES

Após as análises feitas nas pistas de pouso e decolagem de dois aeroportos do Vale do Araguaia, pode-se concluir que para ambos os aeroportos, com relação aos dados referentes ao ensaio de mancha de areia, a textura média da macrotextura estavam acima do mínimo especificado pelas normas da ANAC, que prevê a altura média da mancha de areia acima de 0,6 mm. Entretanto, o pavimento do aeroporto da cidade de Aragarças- GO obteve uma altura média de 2,5 mm, sendo classificada como uma textura muito aberta, gerando conseqüentemente desgastes excessivo nos pneus e tendência a maior ruído ao rolamento.

Os resultados obtido através do ensaio de drenabilidade expressam a capacidade drenante dos pavimentos aeroportuários. A análise feita no pavimento do aeroporto de Aragarças constatou uma boa capacidade drenante, estando associada diretamente com a altura média de mancha de areia, pois foi classificada como muito aberta, o que permite uma vazão maior por conta da textura superficial do pavimento. Ao correlacionar em conjunto os valores de drenabilidade e altura de mancha de

areia obtidos para os dois aeroportos o valor do coeficiente de explicação obtido foi satisfatório, apresentando um valor de 0,856.

A fim de que as pistas de pouso e decolagem dos aeroportos da região do Vale do Araguaia não atinjam níveis críticos quanto a segurança sugere-se algumas medidas de intervenção. Para o aeroporto de Aragarças- GO sugere-se a aplicação de lama asfáltica em toda a extensão da pista, fornecendo assim, uma maior impermeabilização de sua superfície e o rejuvenescimento de sua capacidade funcional. Para o aeroporto de Barra do Garças, sugere-se a utilização de um revestimento asfáltico drenante, que devido à sua elevada permeabilidade, reduz o risco de ocorrência do fenômeno da hidroplanagem.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RA 236-12**: Requisitos de aderência para pistas de pouso e decolagem. Brasília, Distrito Federal, 2012.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **ASTM E-2380-05**. Standart Test Method for Measuring Pavement Texture Drainage Using an Outflow Meter. West Conshohocken, 2009.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **ASTM E-965-96**: Standart Test Method for Measuring Surface Macro Texture Depth using a Volumetric Technique. West Conshohocken, 2006.

BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobrás ABEDA, 2008.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

GOOGLE. **Software Google Earth**. Disponível em: <<http://earth.google.com/intl/pt>>. Acesso em: 07 mar 2019.

GUERRA, K. B. F. **Avaliação da drenabilidade de pavimentos flexíveis no município de Barra do Garças-MT**. 2018. 62p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Mato Grosso. Barra do Garças, Mato Grosso.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Anuário estatístico de Transporte**: 20102016. Brasília, 2017.

RIBEIRO, L. M. B. **Estudo da drenabilidade de pavimentos aeroportuários através de equipamento do tipo outflow meter**. 2012. 150 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.

RODRIGUES FILHO, O.S. **Características de aderência de revestimentos asfálticos aeroportuários – estudo de caso do aeroporto internacional de São Paulo / Congonhas**. 2006. 263 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOUSA, N. A. B. **Avaliação da macrotextura em um trecho da BR-070 no Município de Barra do Garças - MT**. 2017. 55p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil)- Universidade Federal de Mato Grosso. Barra do Garças, Mato Grosso.

VEDANA, C.; DALLA RIVA, R. D. **Avaliação da macrotextura e drenabilidade em pistas de aeroportos de Mato Grosso**. 2015. 9p. Artigo (Graduação em Engenharia Civil). Universidade do Estado de Mato Grosso. Sinop, Mato Grosso.

COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DE GELATINAS OBTIDAS A PARTIR DAS PELES DE MAPARÁ (*Hypophthalmidae*) E URITINGA (*Arius Proops*)

Élida Viana de Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
Macapá – Amapá

Jiullie Delany Bastos Monteiro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
Macapá – Amapá

Nara Helem Brazão da Costa

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
Macapá – Amapá

Leliane da Silveira Barbosa Gomes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
Macapá – Amapá

Iara Eleni de Souza Pereira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá
Macapá – Amapá

RESUMO: A gelatina é um hidrocolóide que possui aplicações industriais por suas propriedades de formar géis estáveis e reversíveis, sua produção a partir dos subprodutos da indústria pesqueira é uma alternativa capaz de contribuir para reduzir o descarte de resíduos no ambiente. Este trabalho objetivou verificar a viabilidade da extração de gelatina obtida de resíduos da pele de espécies

de peixes regionais, Mapará e Uritinga, bem como compará-las com a literatura. As peles foram lavadas e passaram por tratamento salino, seguido de tratamento alcalino e submetidas a dois tratamentos ácidos. A extração foi realizada utilizando água em temperaturas controladas, seguida de filtração. Realizaram-se análises centesimais e físico-químicas em triplicata das gelatinas e das peles de ambas espécies. Quanto a composição centesimal das peles de Uritinga e Mapará, respectivamente, o teor de proteína bruta foi de 16,44% e de 10,51%; As gelatinas apresentaram rendimento dentro do esperado, com variações não significativas para os parâmetros de Umidade, Lipídios e Cinzas e ainda, teores proteicos de 4,91% e 4,47%. Há viabilidade na extração de gelatina a partir das peles das espécies, no entanto as peles de Uritinga apresentaram maiores valores proteicos, podendo resultar em um maior rendimento.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos; Gelatina; Peixes.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil possui a maior reserva de água doce do planeta, com mais de 8 mil km³, muito superior à do segundo colocado, a Rússia, com cerca de 4,5 mil km³, e detém o estuário da região Norte que compreende os estados do

Amapá e do Pará, sendo o mais largo do país com cerca de 100 a 330 Km². O Boletim Estatístico da Pesca e da Aquicultura do Governo Federal, registrou uma produção nacional de 1.431.974,4 toneladas de pescado em 2011, sendo a Região Norte a terceira em produção na aquicultura e segunda na pesca, esta é responsável por uma produção pesqueira corresponde a 22,8% (326.128,3 t). Segundo Bordignon (2010) o setor de pesqueiro, apresentou crescimento superior em relação à produção dos demais produtos de origem animal, aumentando o consumo de pescado em mais de 800% entre os anos de 1970 e 2006.

De todos os problemas enfrentados pela cadeia produtiva de pescado o maior deles é caracterizado pela alta quantidade de resíduos gerados após a filetagem, que corresponde a cerca de 50% do peso bruto do peixe, distribuídos em cabeça, carcaça, vísceras e pele, estes são resíduos orgânicos, com alta qualidade nutricional para obtenção de co-produtos, o que pauta o interesse na busca pelo aproveitamento dos mesmos. (Bueno et al., 2011; Vidotti e Gonçalves, 2006; Lima, 2010).

Segunda o MAPA (2014) no Estado do Amapá estão registrados cinco Entrepósitos de Pescados sob controle do Serviço de Inspeção Federal (SIF), com produção média total de 3.700 t/ano de peixe, o que representa uma geração de aproximadamente 1.850 t/ano de resíduo de pescado no Estado. Um aproveitamento alternativo destes resíduos poderia reduzir os custos dos insumos, minimizar os problemas de poluição ambiental e os custos unitários das matérias-primas (Montaner et al., 1995).

Existem, inúmeras tecnologias que atualmente são empregadas no reaproveitamento da matéria orgânica excedente do processamento industrial de pescado, tais como: a farinha, a silagem para obtenção de ração animal, o óleo de peixe, o couro, o hidrolisados proteicos, a gelatina e o colágeno que são produtos valorizados no mercado (Oetterer, 2006; Vidotti & Gonçalves, 2006).

Um subproduto do beneficiamento do pescado, é a pele, que é utilizada para a produção de couro, gelatina e colágeno. Esta, possui grande sensibilidade à degradação e deve ser submetida à devidos métodos de conservação para preservar sua qualidade (Giménez et al., 2004). Este resíduo poderá ser utilizado para a obtenção de gelatina, de modo a reduzir o impacto ambiental gerado pela alta carga orgânica que é depositada no ambiente quando os mesmos não são utilizados (Oetterer, 2006; Vidotti & Gonçalves, 2006).

A gelatina é uma proteína que ocorre naturalmente, pois é derivada do colágeno da proteína fibrosa, que é o principal constituinte de pele de animais, estando presente nos ossos e tecidos conjuntivos, participando das funções mecânicas do organismo. É obtida a partir da hidrólise parcial do colágeno nativo presente em diversos animais como os bovinos, suínos, aves e peixes, pois é naturalmente uma substância insolúvel em meio aquoso, porém, em sua produção o tecido rico em colágeno é parcialmente hidrolisado, após um pré-tratamento ácido ou alcalino (Gonçalves, 2011; Batista, 2004; Bordignon, 2010).

Além de ser substancialmente um ingrediente alimentar de proteína pura, obtida

pela desnaturação térmica do colágeno, a gelatina pode ser considerada como um alimento dietético, de alta digestibilidade que atua como complemento para vários tipos de dietas (Tavakolipour, 2011). A quantidade de gelatina usada no mundo inteiro aumenta anualmente, sua produção mundial foi de aproximadamente 326.000 toneladas em 2013, onde 46% são provenientes de peles suínas, 29.4% de couro bovino, 23.1% de ossos e 1.5 % de outras partes (Ferreira, 2013).

Apesar da maior parte das gelatinas comerciais serem derivadas de mamíferos, principalmente de origem suína e bovina, por razões sócio culturais, como as religiões judaica e islâmica, cresce a exigência de fontes alternativas. A gelatina de pescado não apresenta essas restrições e, sob o ponto de vista econômico, a utilização de resíduos pesqueiros para obtenção de co-produto com valor tecnológico e nutricional é fator determinante para aumentar tanto a eficiência produtiva das indústrias processadoras de pescado, quanto para reduzir o impacto ambiental gerado pelos descartes destes materiais no ambiente (Fernández-díaz et al., 2003; Lima, 2010).

Com produção de baixo custo e em grande quantidade no Brasil, a gelatina é um hidrocolóide que possui inúmeras aplicações industriais por conta de suas propriedades de formar géis estáveis e reversíveis, sua utilização tem sido difundida ao longo dos anos nas indústrias de alimentos, farmacêuticas, cosméticas e fotográficas. Sendo que, nas indústrias alimentícias são empregadas visando melhorar as características como elasticidade, estabilidade e consistência de produtos, são utilizadas ainda em vários produtos funcionais como aditivo, estabilizante, espessante e enaltecedor da textura em muitos produtos, como na confeitaria em sobremesas, em laticínios, carnes e peixes (Almeida, 2012; Cho et al., 2004; Choi & Regenstein, 2000; Gómez-Guillén et al., 2002; Brasil Alimentos, 2004).

O método de extração do colágeno para a elaboração da gelatina a partir de peles de peixe, é diferente dos empregados para peles de mamíferos, devido às diferenças nas propriedades físicas e químicas, necessita-se utilizar temperaturas moderadas dependendo do tipo de matéria-prima (peixes de águas tropicais ou frias), do pré-tratamento aplicado e das condições de extração (Gonçalves, 2011).

Na extração, a pele é imersa em solução ácida ou alcalina com temperatura controlada, até que ocorra a penetração dessa solução em toda sua superfície. Nesse processo a pele incha de duas a três vezes o seu volume inicial, ocorrendo com esse fenômeno, a clivagem de ligações não covalentes inter e intra moleculares. A grande vantagem desse processo é a curta duração do tempo do tratamento, que poderá durar apenas algumas horas (Gonçalves, 2011).

Da ordem dos Siluriformes, de couro e sem escamas, conhecido popularmente pelo nome de Bagre, a Urutinga tem ampla distribuição geográfica, a partir das Guianas, para a costa atlântica da América do Sul, geralmente é encontrada em águas costeiras rasas, é abundante em estuários e águas salobras estagnadas, ocorrendo também em águas doces. Segundo Melo et al (2011), a uritinga é uma das principais espécies processadas em indústrias pesqueiras no norte e nordeste do

Brasil, principalmente na forma de filé, apresentando considerável valor econômico (Fischer, 1978; Azevedo et al, 2010).

Encontrado no rio Amazonas e seus afluentes o Mapará (*Hypophthalmus*), é um siluriforme de médio porte, com baixo teor de proteínas e elevado conteúdo lipídico, de baixo valor comercial na região norte, seu consumo é inferior em relação às outras espécies regionais apesar de sua grande disponibilidade, principalmente em função das precárias condições higiênico-sanitárias dos pontos de comercialização e de suas características sensoriais, bem como, de tabus alimentares e da falta de conhecimentos referentes à composição nutricional (Ackman, 1989; Evangelista et al. 1998).

Este trabalho objetivou verificar a viabilidade da extração de gelatina a partir de resíduos de pele de duas espécies de peixes regional, o Mapará (*Hypophthalmidae*) e de Uritinga (*Arius proops*), bem como compará-las com a literatura.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas peles de Mapará (*Hypophthalmidae*) e de Uritinga (*Arius proops*), na feira Municipal do Novo Horizonte e em Entrepasto pesqueiro no Estado do Amapá respectivamente, estas foram transportadas em caixas térmicas, higienizadas para a retirada de sujidades e resíduos de carne e acondicionadas em embalagens de polipropileno e embaladas a vácuo.

As peles foram cortadas em pedaços de aproximadamente 12 cm², e então lavadas em água corrente e submetidas ao primeiro tratamento, com imersão em solução salina de NaCl a 0,02% com agitação constante, por 5 minutos e então foram submetidas à lavagem em água corrente. O tratamento seguinte, foi o alcalino em solução de NaOH a 0,3% à temperatura de -10°C por 80 minutos, após este, as peles foram lavadas em água corrente até atingir pH próximo à neutralidade e na sequência, submetidas a dois tratamentos ácidos: o primeiro com ácido sulfúrico a 0,3% por 80 minutos a temperatura ambiente, e o segundo com ácido cítrico a 0,7% durante 80 minutos a 10°C, dando continuidade. passaram por lavagem em água corrente até atingirem pH próximo a neutralidade. A extração foi realizada utilizando água destilada em temperaturas controladas entre 60 e 70°C com agitação constante, seguida de filtração, conforme metodologia proposta por Alfaro (2008).

As as peles e as gelatinas líquidas de Mapará (*Hypophthalmidae*) e de Uritinga (*Arius proops*), foram submetidas a análises centesimais e físico-químicas em triplicata, nos Laboratório de Alimentos da EMBRAPA-AP.

Para obter umidade (UMD) utilizou-se o método secagem em estufa a 105°C até peso constante. Proteína Bruta Total (PBT) foi determinada através do Método Kjeldahl, o teor de proteína bruta foi calculado multiplicando-se o nitrogênio total pelo fator 6,25 (%N x 6,25) ; A determinação de Lipídios Totais (LPT) foi obtida pela metodologia de Bligh-Dyer, que é usada para produtos com altos teores de água.

Cinzas (CNZ) foi determinada gravimetricamente em mufla a 550°C/6h (IAL, 2008; Souza & Nogueira, 2005). Foi realizado ainda pH e a Acidez Total Titulável (ATT).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados valores de 79,61% de umidade para as peles de Uritinga e de 66,54% para as peles do Mapará, tais valores foram similares aos encontrados para a tilápia-do-nilo, corvina e *Decapterus macrosoma*. Bordignon et. al. (2012), em estudo com peles congeladas e salgadas de tilápia-do-nilo obteve teores de UMD de 78,13% e 76,46%, respectivamente. E Cheow et al. (2007), encontrou valores para UMD de 62,3% em peles corvina e 60,4% para a pele de *Decapterus macrosoma*.

A proteína bruta (PBT) encontrada nas peles foi de 164,4g/kg (16,44%) e de 105,1g/kg (10,51%) para peles de Uritinga e Mapará, respectivamente. Songchotikunpan et al. (2008) e Alfaro (2010) afirmam que, é com base no teor da proteína bruta da matéria-prima, que é possível estimar qual será a máxima produção de gelatina extraída, pois este representará a quantidade máxima de colágeno presente no tecido e, portanto, o máximo rendimento possível de gelatina. A porcentagem de PBT das peles de Uritinga e Mapará foram inferiores aos encontrados por Bordignon et al (2012), que foi de 18,16 e 19,57% para peles de tilápia-do-nilo conservadas por congelamento e salga a seco, respectivamente. Entretanto, esta diferença pode ser atribuída à relação inversamente proporcional entre a umidade e a proteína bruta, portanto, quando a umidade for elevada, a proteína bruta será proporcionalmente baixa.

O valores de Lipídios Totais (LPT) foram de 1,27% (12,70 g/kg) para as peles de Uritinga e de 15,07% (150,7 g/kg) para as peles de Mapará, tais valores elevados são característicos desta espécie, considerada gorda. O conteúdo de cinzas (CNZ) foi de 0,58 e de 0,44% para as peles de Uritinga e Mapará respectivamente.

Amostra	UMD	PBT	LPT	CNZ	pH
Gelatina de Uritinga	94,82 ± 0,05	4,91 ± 0,12	0,15 ± 0,08	0,05 ± 0,01	4,80 ± 0,04
Gelatina de Mapará	95,19 ± 0,04	4,47 ± 0,26	0,13 ± 0,04	0,06 ± 0,01	4,80 ± 0,03
Pele de Uritinga	79,61 ± 0,68	16,44 ± 2,22	1,27 ± 0,21	0,58 ± 0,06	7,26 ± 0,10
Pele de Mapará	66,54 ± 0,09	10,51 ± 0,77	15,07 ± 0,73	0,44 ± 0,03	7,60 ± 0,07

Tabela 1 – Resultado da análise centesimal, para as gelatinas de mapará e Uritinga.

A composição centesimal das gelatinas de Uritinga e Mapará líquidas, resfriadas após a extração não apresentaram variações significativas entre os parâmetros de Umidade, Lipídios Totais e Cinzas. Segundo Bordignon et. al. (2012), os teores elevados de UMD das gelatinas quando comparadas à gelatina em pó deve-se ao fato de as gelatinas estarem na forma líquida e não seca. E também em função do processo de hidrólise ácida, na qual as peles são hidratadas por moléculas de água

que se ligam à estrutura do colágeno.

As gelatinas de Uritinga e Mapará apresentaram teores de 4,91% (49,10 g/kg) e de 4,47% (44,70g/kg) de proteínas respectivamente, valores maiores do que os encontrados por Bordignon et al (2012) para tilápia-do-nilo, que foi de PBT correspondente a 3,8 (31,8 g/kg) e de 4,12% (41,2 g/kg) para gelatinas líquidas com diferentes pré tratamentos de extração (congeladas e salgadas), apesar de os valores de PBT das peles de Uritinga e Mapará indicarem valores inferiores aos da pele de tilápia-do-nilo, ou seja as gelatinas de Uritinga e Mapará mostraram-se com rendimento superior ao encontrado pelo autor.

Os valores de pH das gelatinas foram de $4,80 \pm 0,04$ e $4,80 \pm 0,03$, estes podem ser atribuídos aos tratamentos empregados. Quanto a formação de géis a gelatina de Uritinga apresentou maior poder aparente de gelificação em relação a de Mapará, tendo em vista sua composição proteica.

4 | CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, percebe-se que há viabilidade na extração de gelatina a partir das peles de ambas espécies, no entanto as peles Uritinga apresentaram maiores valores proteicos, podendo resultar em um maior rendimento na extração.

Faz-se necessária a realização outros testes e tratamentos para verificar suas propriedades reológicas e organolépticas tendo em vista conhecer mais acerca do produto elaborado. Dessa forma o aproveitamento de resíduos de pescados, através da obtenção de co-produtos com valor comercial, tecnológico e nutricional envolve estratégias de um modelo de produção voltado para a sustentabilidade da cadeia produtiva de alimentos, que poderá gerar retornos econômicos e socioambientais positivos.

5 | AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Pesquisa e Extensão - DEPEX, a Seção de Gerenciamento dos Laboratório de Curso – SELAB do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA/ AP pelo apoio.

REFERÊNCIAS

Alfaro AT. *Otimização das condições de extração e caracterização da gelatina de pele de tilápia (Oreochromis urolepis hornorum)*. 130f. 2008. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

Alfaro AT, Silva EF. **Propriedades reológicas da gelatina obtida a partir de pele de tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. Rev Inst Adolfo Lutz. São Paulo, 2010; 69(4):555-61.

Almeida et. al, 2012. Poliana Fernandes Almeida; Rosângela Maria Vanalle; José Carlos Curvelo Sanatana. **Produção de Gelatina: Uma perspectiva competitiva para a cadeia produtiva de frango de corte**. Rev. Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v. 14, n.1, p.63-76.

Almeida, P. F. **Análise da qualidade de gelatina obtida de tarsos de frango e aspectos envolvidos no processo produtivo**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Nove de Julho, 2012.

Anderson et al, 1988. **Nutrição**. Rio de Janeiro: Guanabara. Cap. 10, p. 680 179-87.

Azevedo et al. **Size And Age At First Maturity Of The Crucifix Sea Catfish, *Sciades Proops (Valenciennes, 1840) (Siluriformes: Ariidae)*, Caught Off Western Maranhão State, Brazil**. Arq. Ciên. Mar, Fortaleza, 2010, 43(2): 96 - 102.

Batista, Juliana Alves. **Desenvolvimento, Caracterização e Aplicações de Biofilmes a Base de Pectina, Gelatina e Ácidos Graxos em Bananas e Sementes de Brócolos**. 2004. 140f. Dissertação (Mestre em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

Bordignon, A. C. **Caracterização da pele da gelatina extraída de peles congeladas e salgadas de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*)**. Dissertação de mestrado em Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá, 114 p, Maringá, 2010.

Bordignon et al. **Aproveitamento de peles de tilápia-do-nilo congeladas e salgadas para extração de gelatina em processo batelada**. Revista Brasileira Zootec., v.41, n.3, p.473-478, 2012.

Brasil Alimentos. **Processos - Estabelecendo novos padrões para gelatina**. Rev. nº 27 - Setembro/Outubro de 2004. p. 30-31.

Brasil, Ministério da saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), Diário Oficial da União Resolução RDC nº 360. **Regulamento técnico sobre rotulagem nutricional de alimentos embalados Brasília, DF**. Dezembro de 2003.

Brasil. **Ministério da Pesca e Aquicultura. Boletim estatístico da pesca e aquicultura 2011**. Brasília: MPA, 2011. 60p.

Bueno, C. M.; Alvim, I. D.; Koberstein, T. C. R. D.; Portella, M. C.; Grosso, C. **Produção de gelatina de pele de tilápia e sua utilização para obtenção de micropartículas contendo óleo de salmão**. Brazilian J of Food Technol, Campinas, v. 14, n. 1, p. 65-73, 2011.

Cheow, C.S.; Norizah, M.S.; Kyaw, Z.Y. et al. **Preparation and characterization of gelatins from the skins of sin croaker (*Jhonius dussumieri*) and shortfin scad (*Decapterus macrosoma*)**. Food Chemistry, v.101, n.1, p.386-391, 2007.

Cho. S. M.; Kwak, K. S.; Park, D. C.; Gu, Y. S.; Ji, C. I.; Jang, D. H.; Lee, Y. B.; Kim, S. B. **Processing optimization and functional properties of gelatin from shark (*Isurus oxyrinchus*) cartilage**. Food Hydrocolloids, v. 18, p. 573-579, 2004.

Choi, S.S.; Regenstein, J.M. **Physicochemical and sensory characteristics of fish gelatin**. Journal of Food Science, v.65, p.194-199, 2000.

Fernández-díaz et al, 2003. **Effect of freezing fish skins on molecular and rheological properties of extracted gelatin**. Food Hydrocolloids, v. 17, p. 281-286.

- Ferreira, 2013. Mirele Fernandes Ferreira. **Extração E Caracterização De Gelatina Proveniente De Subprodutos Do Frango: Pés**. 2013. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão.
- Fischer, W. **Species identification sheets for fishery purposes**. Western Central Atlantic (Fishing Area 31), Rome. FAO, 1. sem paginação, 1978.
- Galvão, 2014. **Qualidade e processamento de pescado** / organização Juliana Antunes Galvão, Marília Oetterer. – 1. ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- GIMÉNEZ, B. **Storage of dried fish skins on quality characteristics of extracted gelatin**. Food Hydrocolloids, v.19, p.958-963, 2004.
- Gómez-guillén, M.C.; Turnay, J.; Fernández-días, M.D. et al. **Structural and physical properties of gelatin extracted from different marine species: a comparative study**. Food Hydrocolloids, v.16, n.1, p.25-34, 2002.
- Gonçalves, 2011. **Tecnologia de Pescado: Ciência, Tecnologia, Inovação e Legislação** / editor Alex Augusto Gonçalves. – São Paulo : Editora Atheneu.
- Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. p. 1020. [Versão Eletrônica].
- Lima, 2010. Urgel de Almeida Lima. **Matérias-Primas dos Alimentos**. Edgard Blucher. 1a Edição. p.424.
- Melo et al. **Aproveitamento Do Resíduo A Partir Do Beneficiamento De Pescado De Uma Indústria Pesqueira No Norte Do Brasil** / Arq. Ciên. Mar, Fortaleza, 2011, 44(3): 5 - 11.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento / **Relação de Estabelecimentos**. Secretaria de Defesa Agropecuária - SDA, Departamento de Inspeção de Produtos de Origem Animal - DIPOA, Serviço de Inspeção Federal - SIF. 2014.
- Montaner, M.I.; Parín, M.A. & Zugarramurdi, A. **Comparación técnico-económica de ensilados químicos y biológicos de pescado**. Alimentaria, v.43, 1995.
- Oetterer, 2006. Marília Oetterer, Marisa Aparecida Bismara Reginato-d' Arce, Marta Helena Fillet Spoto / **Fundamentos da Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Barueri, SP : Manole.
- Silva, H. Dos S.; Maciel, C. S. **Gerenciamento dos resíduos sólidos nas centrais de abastecimento**. In: **Associação Brasileira Das Centrais De Abastecimento - Abracen. Manual operacional das Ceasas do Brasil**. Belo Horizonte: AD2 Editora, 2011. p. 159-165.
- Souza, G. B.; Nogueira, A. R. A. **Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005.
- Songchotikunpan, P.; Tattiyakul, J.; Supaphol, P. **Extraction and electrospinning of gelatin from fish skin**. International Journal of Biological Macromolecules, v.42, p.247-255, 2008.
- Tavakolipour, Hamid. **Extraction and evaluation of gelatin from silver carp waste**. World Journal of Fish and Marine Sciences., Sabzevar, v. 3, n. 1, p. 10-15,2011.
- Vidotti, R.M.; Gonçalves, G.S. **Produção e caracterização de silagem, farinha e óleo de tilápia e sua utilização na alimentação animal**. Instituto de Pesca, São José do Rio Preto, 2006.

CONTROLE ESTRUTURAL DO DEPÓSITO PLACER DE MINERAIS PESADOS NA REGIÃO PRAIAL AO NORTE DA DESEMBOCADURA DA LAGOA DOS PATOS (BUJURU, BRASIL)

Bruno Silva da Fontoura

(Eng. Geólogo, FURG) E-mail: brunosfontoura@hotmail.com

Adelir José Strieder

(Geólogo, UFPel)

Jéssica Stern Behling

(Eng. Geóloga, UFPel)

Rui Sérgio Saraiva Duarte Junior

(Eng. Geólogo, UFPel)

Talita Cabelera da Silva

(Eng. Geóloga, UFPel)

Paulo Mendes

(Geólogo, HIDROSERV – Hidrogeologia e Geofísica Ltda)

Aureliano Augusto Vieira da Nóbrega

(Geólogo, Rio Grande Mineração S/A)

Lauro Julio Calliari

(Oceanógrafo, FURG)

RESUMO: O artigo apresenta e discute o controle estrutural do depósito placer de minerais pesados na região praial ao norte da desembocadura da Lagos dos Patos (Brasil). A investigação foi baseada principalmente utilizando-se do equipamento GPR (Ground Penetrating Radar) e seções de furos de sondagem. As imagens de alta resolução foram também usadas para avaliar o processo de sedimentação, o controle e o desenvolvimento do placer. A Planície Costeira do RGS constitui

uma ampla área emersa da Bacia de Pelotas, na qual foi formada a partir do barremiano/apertiano, depois da ruptura do Gondwana. A configuração geomórfica e estratigráfica da Planície Costeira do RGS é constituída por um sistema de leques aluviais que ocupam uma faixa contínua ao longo da parte mais interna da planície costeira e quatro distintos sistemas deposicionais transgressivos-regressivos do tipo laguna/barreira que formaram-se como consequência de alterações do nível do mar do Pleistoceno Médio ao Holoceno. Os depósitos de placer estão presentes em áreas entre as barreiras do Pleistoceno Superior (121.5 ka) e do Holoceno (5.6 ka). Estudos com GPR foram feitos perpendicularmente a linha de costa e paralelos as seções de furos de sondagem já obtidos no distrito de Bujuru. Os levantamentos com GPR revelaram que a camada de turfa holocênica identificada nos radar-facies foi deslocada por uma falha normal e arqueada próximo a falha (drag folds). A erosão do bloco rotacionado soerguido junto à linha de praia promove o preenchimento da depressão estrutural por dunas retrogradantes quaternárias cujo deslocamento é controlado pelos ventos vindos de NE.

PALAVRAS-CHAVE: Depósito placer de minerais pesados, GPR (Ground Penetrating Radar), controle estrutural, Planície Costeira do Rio Grande do Sul

STRUCTURAL CONTROL OF HEAVY MINERAL PLACER DEPOSITS AT RGS (BRAZIL) COASTAL PLAIN

ABSTRACT: This paper aims to present and discuss the structural control of heavy mineral (HM) placer deposits in the Coastal Plain of Rio Grande do Sul State (Brazil). The investigation was mainly based on drill-holes geological sections, and GPR surveys. High resolution images were also used to evaluate the sedimentation process and the placer control and formation. The RGS Coastal Plain is the immersed part of the Pelotas Basin, which was developed from Barremian/Aptian on, after Gondwana rupture. The actual geomorphic and stratigraphic configuration of the RGS Coastal Plain is due to a deltaic alluvial plains that occupy a continuous strip along the innermost part of the coastal plain and four separate transgressive/regressive depositional systems of lagoons/barrier type developed as consequence of sea level changes from Middle Pleistocene to Holocene. The HM placer deposits are mainly confined to a lagoon area between Upper Pleistocene (121.5 ka) and Holocene (5.6 ka) barriers. Studies with GPR were acquired perpendicular to the shoreline and parallel to drill-hole sections already obtained in Bujuru district. GPR survey sections revealed that a holocenic peat layer equivalent radar-facie underwent normal fault displacement and arcuate close to faults (drag folds). The erosion of the rotated block raised near the beach line promotes the filling of the structural depression by quaternary retrograding dunes whose displacement is controlled by the NE winds.

KEYWORDS: Heavy mineral placer deposits, GPR (Ground Penetrating Radar), structural control, RGS coastal plain

1 | INTRODUÇÃO

A Planície Costeira do RGS constitui uma ampla área emersa da Bacia de Pelotas, na qual foi formada a partir do barremiano/aptiano, depois da ruptura do *Gondwana*. A Planície Costeira do RGS possui de 20 a 80 km de largura e mais de 600 km de comprimento. A configuração geomórfica e estratigráfica desta região é constituída por um sistema de leques aluviais que ocupam uma faixa contínua ao longo da parte mais interna da planície costeira e quatro distintos sistemas deposicionais transgressivos-regressivos do tipo laguna/barreira que formaram-se como consequência de alterações do nível do mar do Pleistoceno Médio ao Holoceno (Villwock *et al.*, 1986) “Fig. 1”.

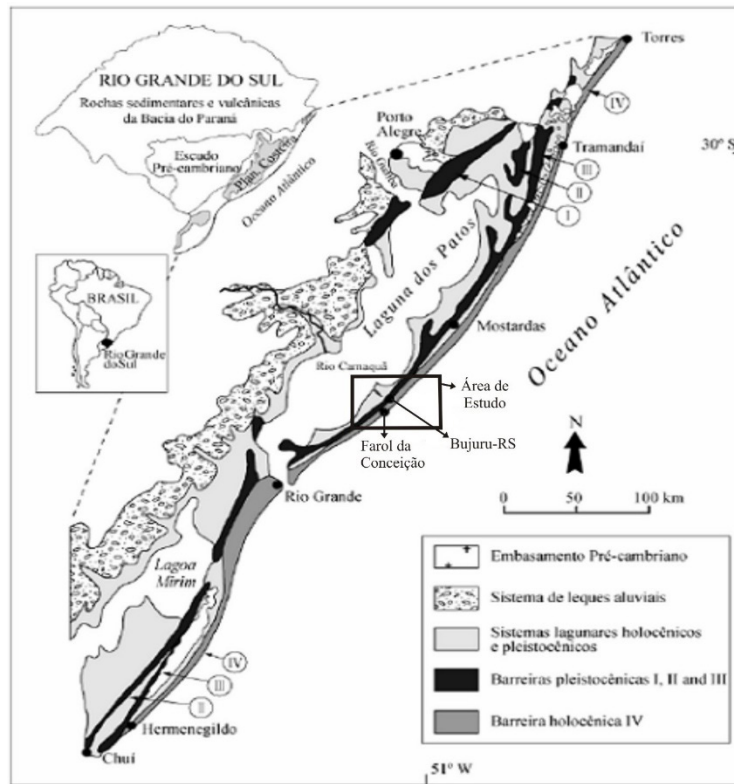


Figura 1. Localização da área de estudo e um esboço da geologia local (Modificado de Dillenburg et al., 2005).

O município de São José do Norte (RGS, Brasil) apresenta uma das maiores ocorrências de minerais pesados no Brasil e que neste momento está sob licença para mineração. O depósito mais importante é o depósito de Bujuru, localizado no distrito de Bujuru “Fig. 1”. O distrito de Bujuru apresenta areias holocênicas (3.5 ka), turfa (1.4 ka) e areias ricas em minerais pesados (<1.0 ka) aflorando na praia e no pós-praia. A camada de turfa demonstrou ser uma excelente radar-facie a fim de caracterizar as unidades estratigráficas e as características estruturais na costa.

Segundo Strieder *et al.* (2015), a região indica a presença de duas importantes falhas gravitacionais denominadas i) Falha da Lagoa do Peixe e ii) Falha de Rio Grande “Fig. 2”. Tais falhas gravitacionais possuem uma geometria lítrica em perfil, e curva em planta. O distrito de Bujuru, portanto, encontra-se na extremidade de ambas falhas, onde os rejeitos são mínimos e tendem a zero.

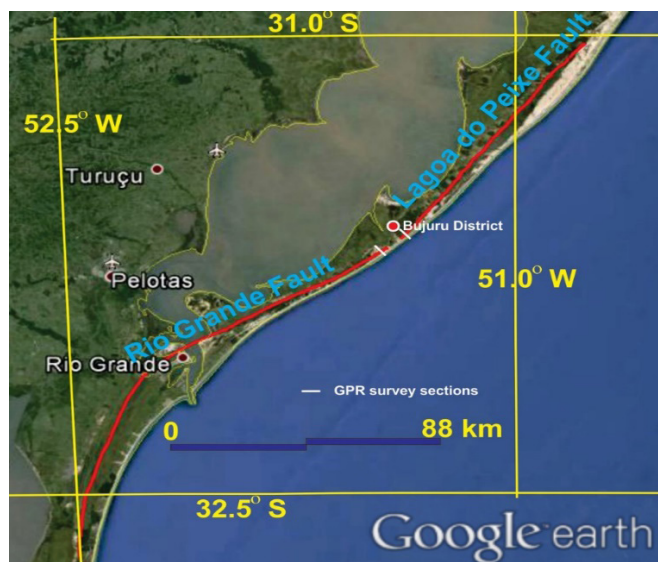


Figura 2. Mapa mostrando a localização das falhas gravitacionais de Rio Grande e da Lagoa do Peixe (imagem modificada do *Google Earth*).

Os trabalhos com GPR foram desenvolvidos no sentido de investigar essas estruturas deformacionais, bem como avaliar as características observadas por estes autores. As linhas realizadas com o GPR foram adquiridas perpendicular à linha de costa e paralela as seções de furos de sondagem.

Este artigo apresenta e discute como objetivo principal o controle estrutural do depósito *placer* de minerais pesados na região praial ao norte da desembocadura da Lagos dos Patos (Bujuru, RS, Brasil). O processo de sedimentação dos minerais pesados é também discutido baseado na análise dos radargramas e das imagens de alta resolução.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Os levantamentos com GPR foram realizados perpendicularmente a linha de costa e paralelos as seções dos furos de sondagem para fins de avaliação do depósito *placer* de minerais pesados no distrito de Bujuru (São José do Norte, RS, Brasil).

2.1 Parâmetros para o levantamento com GPR

Os levantamentos com GPR foram executados através de duas seções de 3 a 5 km de comprimento cada “Fig. 3”, usando antenas de 50 (RTA) e 100 (*shielded*) MHz que alcançavam uma penetrabilidade máxima de 20 a 23 m. O equipamento utilizado foi um georradar da marca MALA-RAMAC, modelo *Pro-EX System* da empresa MALÅ.

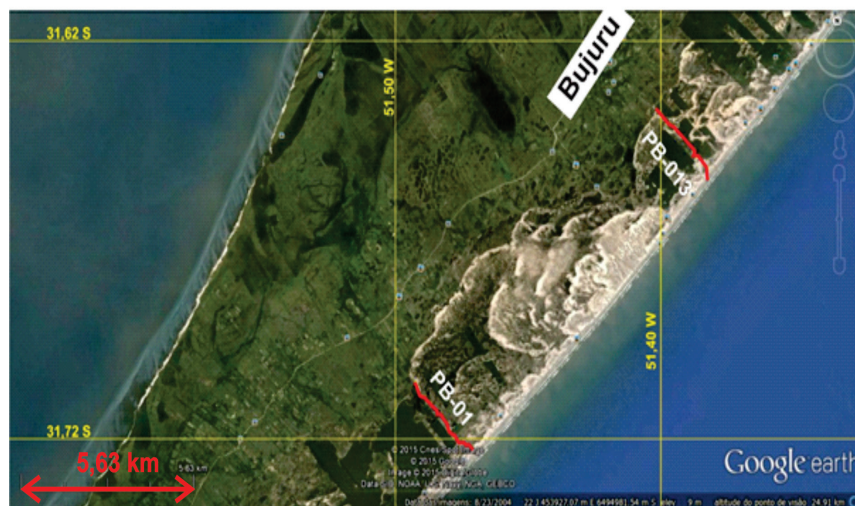


Figura 3. Localização dos perfis de levantamento geofísico no Distrito de Bujuru (São José do Norte, RS) (imagem modificada do *Google Earth*)

2.2 Processamento de dados do GPR

Após o levantamento de campo, os dados do GPR foram processados com o *software Reflex-W*. O processamento incluiu os seguintes passos:

- i) Determinar o tempo de corte do *delay time*
- ii) Filtragem de baixas frequências (*dewow*)
- iii) Filtragem *bandpass* (trapezoidal ou *butterworth*)
- iv) Migração ($v = 0.3$ m/ns) para remover reflexões da superfície na antena sem blindagem
- v) Correção topográfica
- vi) Migração topográfica 3D ($v = 0.09$ m/ns, velocidade média de acordo com a profundidade da camada superior de turfa no furos de sondagem)
- vii) Filtragem *butterworth*

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A descrição e a análise geológica do depósito de *placer* de Bujuru pode ser encontrada em (Dillenburg et al., 2004). Esses modelos anteriores interpretam que o depósito *placer* de minerais pesados está principalmente confinado na área da laguna entre a barreira III e IV.

Em vista disso, foi criado o modelo geológico para o depósito de *placer* de minerais pesados de Bujuru com o auxílio de seções de furos de sondagem. A observação de algumas seções geológicas construídas com base nas sondagens, as visitas em campo e as informações (verbais) do Geólogo Aureliano Nóbrega sobre alguns resultados aparentemente não compreendidos da modelagem e cubagem

dos depósitos minerais no Distrito de Bujuru, fizeram com que as ações fossem definidas no sentido de utilizar método geofísico de prospecção (GPR) para avaliar a continuidade espacial da camada de turfa existente na região.

Três seções geológicas no Distrito Bujuru chamam a atenção. Essas seções correspondem às linhas de sondagem denominadas PB-01, PB-05 e PB-13 respectivamente abaixo “Fig. 4”. Os perfis de sondagem foram executados na direção ESSE – WNW. Esses perfis mostram que a camada de turfa é descontínua, e que pode ser encontrada em diferentes cotas altimétricas.

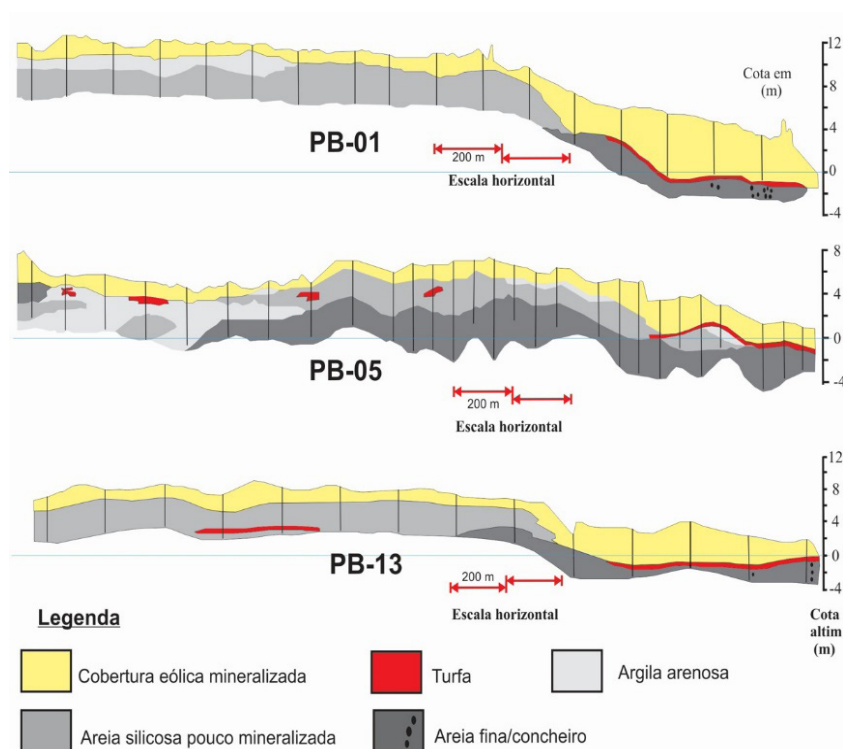


Figura 4. Furos de sondagem do depósito de Bujuru. Autorizada a publicação pela Rio Grande Mineração S.A

3.1 Radargramas

A figura 5 apresenta os radargramas para as linhas de levantamento com GPR denominadas PB-01 e PB-013. Ambos radargramas mostram a camada de turfa mergulhando em direção ao continente “Fig. 5a,b” e deslocado por uma falha normal de alto ângulo. A camada guia de turfa visivelmente mergulha em direção ao continente, e é cortada por falhas normais que mergulham ora para o continente, ora em direção à praia. O movimento em cada bloco de falha é também acomodado por dobras de arrasto (*drag folds*) sobre sedimentos não consolidados.

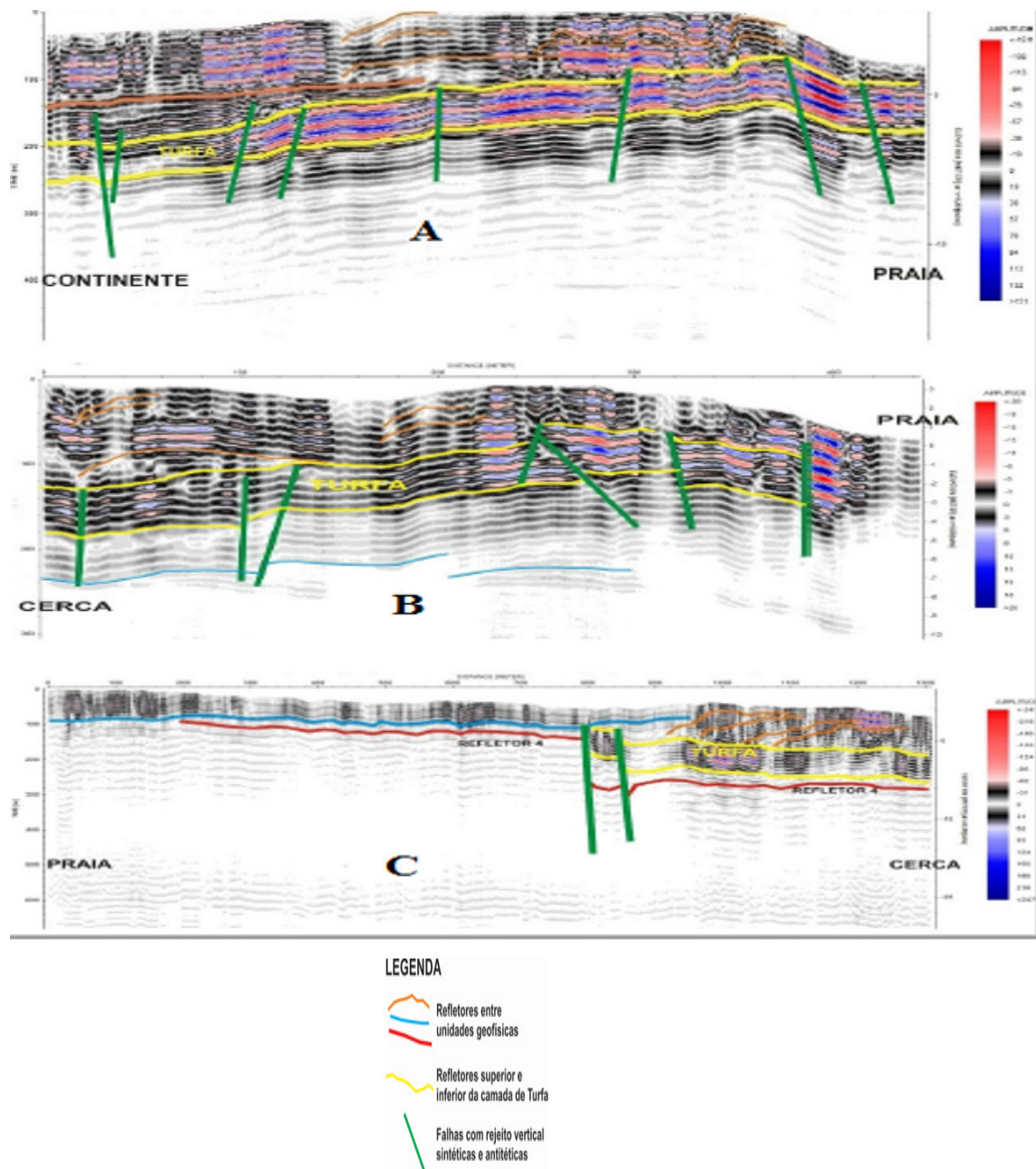


Figura 5. Radargramas dos levantamentos com GPR 50 MHz em Bujuru, RS.

A figura 5a,b mostram que a camada de turfa está inclinada em direção ao continente como resultado do falhamento normal. Na figura 5a, a camada guia de turfa visivelmente mergulha em direção ao continente, e é cortada por falhas normais que mergulham ora para o continente, ora em direção à praia. Além disso, identifica-se o refletor transgressivo cavalgante acima da camada de turfa (linhas em laranja), que marca as dunas gradativamente migrando do litoral (praia) para o interior.

Na figura 5c é possível notar que as linhas refletoras retrogradantes correspondentes às dunas quaternárias e as falhas normais são mais claramente observadas nessa figura. Do mesmo modo, a descontinuidade do radarfacies da camada de turfa no bloco Oeste pode ser identificada. As linhas refletoras do radarfacies superior (dunas) tem continuidade em ambos os blocos e não sugerem ruptura após a sua deposição.

3.2 Discussão estrutural e estratigráfica

Conforme discutido no trabalho de Strieder *et al.* (2015), a figura 6 mostra claramente que os sedimentos dos cordões lagunares e das dunas retrogradantes preenchem gradativamente a depressão lagunar. Os cordões lagunares, provavelmente, foram formados pelo rebaixamento do nível médio do mar após a última glaciação. Os sedimentos eólicos, por outro lado, sobrepõem-se aos sedimentos dos cordões lagunares, como pode ser verificado pelo truncamento que as linhas de limite das dunas exercem sobre as linhas dos cordões.



Figura 6. Imagem em alta resolução do distrito de Estreito (São José do Norte, RS, Brasil) mostrando o modelo de controle estrutural em escala real da região de estudo (imagem modificada do Google Earth).

3.3 Discussão sobre o controle do depósito placer de minerais pesados

Conforme mostra a figura 7, em escala dos grandes blocos de falha, a rotação promove o abatimento do bloco de teto (*hangingwall*) e a formação de uma depressão estrutural. Porém, na outra extremidade do bloco, há o soerguimento e a formação de um alto estrutural, que pode produzir uma outra escarpa de falha.

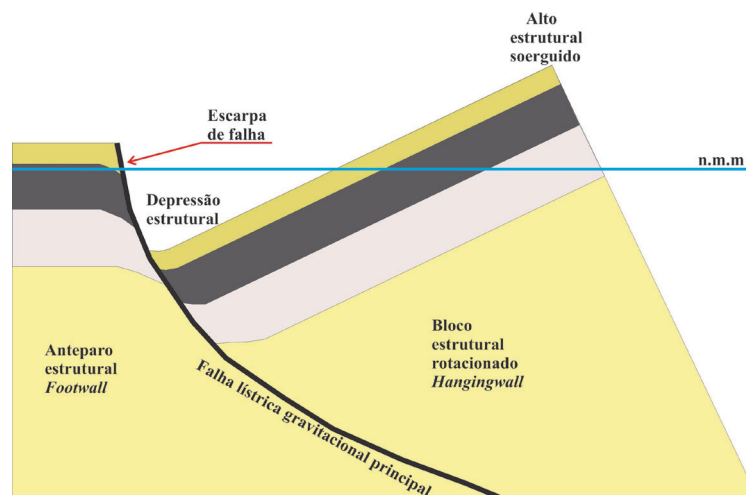


Figura 7. Modelo de controle estrutural dos depósitos *placer* em Bujuru (São José do Norte, RS), evidenciando falha gravitacional, as dobras de arrasto e a rotação de blocos.

Esse modelo estrutural responde pelos extensos alinhamentos geomorfológicos registrados (escarpas de falha lítrica principal), pelo basculamento da camada guia de turfa e pelo espessamento da camada arenosa hospedeira dos minerais pesados (camada mineralizada) no limite oeste dos depósitos. A depressão estrutural é ocupada pela Lagoa do Peixe (não completamente preenchida) e pela Lagoa Retiro – Estreito (quase completamente preenchida). O alto estrutural soerguido encontra-se junto à linha de praia e constitui a fonte dos sedimentos e anteparo estrutural para o estabelecimento do cordão de dunas junto ao litoral.

Os processos geológicos-estruturais que ocorrem no bloco rotacionado são mostrados simplificadaamente na forma do bloco-diagrama da figura 8. O anteparo estrutural (*footwall*) sofre erosão em duas frentes: i) erosão eólica e formação de pequenas dunas quaternárias, e ii) erosão junto à escarpa das falhas gravitacionais lítricas para formar os cordões lagunares paralelos à direção da falha e preenchimento da depressão lagunar adjacente. O alto estrutural formado pela rotação do bloco na linha de praia, por outro lado, sofre erosão principalmente a partir de ventos NE que sopram na região. Assim, a erosão na porção superior do alto estrutural rotacionado transporta e deposita a areia gradativamente sobre a estrutura basculada, dando origem às dunas retrogradantes que vão gradualmente preenchendo o sistema lagunar.

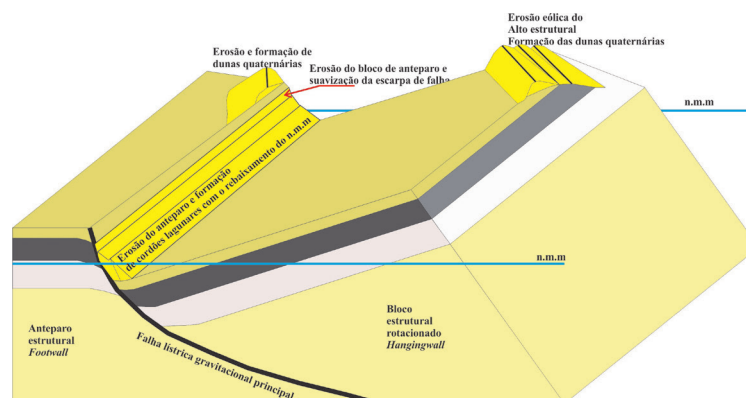


Figura 8. Modelo de controle estrutural do depósito *Placer* em Bujuru-RS, evidenciando os processos que ocorrem no bloco.

4 | CONCLUSÕES

Os levantamentos geofísicos (GPR) na região de Bujuru (São José do Norte, RS) mostram que o *placer* dos depósitos de minerais pesados da região são estruturalmente controlados por falhas normais (sintéticas e antitéticas), que causaram dobras de arrasto (*drag folds*) e basculamento sobre a camada guia de turfa. Essa camada de turfa está sotoposta à camada de areia fina a média que contém os minerais pesados (HM) e está mergulhando em direção ao continente (basculamento).

O conjunto de falhas existentes no depósito faz parte de uma estrutura regional que condiciona os sistemas lagunares da Lagoa do Peixe (parcialmente preenchida)

e da Lagoa Retiro – Estreito (quase que totalmente preenchida). Esses sistemas lagunares são controlados regionalmente pela Falha de Rio Grande e pela Falha da Lagoa do Peixe.

O depósito de minerais pesados tipo *placer* de Bujuru (RS) resulta da erosão do alto estrutural posicionado junto à linha de praia e formado pela rotação de falha lístrica gravitacional. A erosão eólica promovida pelos ventos vindo de NE forma um sistema de dunas retrogradantes que gradativamente preenche a depressão estrutural (laguna).

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Rio Grande Mineração S/A, e a HIDROSERV – Hidrogeologia e geofísica Ltda pelo apoio durante toda a pesquisa.

REFERÊNCIAS

DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J., BARBOZA E.G. *Barrier evolution and placer formation at Bujuru southern Brazil. Mar. Geol.* 203, 43-56. 2004.

DILLENBURG, S.R., TOMAZELLI, L.J, MARTINS, L.R., BARBOZA, E.G. *Modificações de Longo Período da Linha de Costa das Barreiras Costeiras do Rio Grande do Sul. Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica – CECO/IG/UFRGS. p. 9-14. 2005.*

TOMAZELLI, L.J., VILLWOCK, J.A., DILLENBURG, S.R., BACHI, F.A., DEHNHARDT, B.A. *Significance of present-day coastal erosion and marine transgression, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. Anais Acad. Bras. Ciênc.* 70, 221-229. 1998.

STRIEDER, A.J, FONTOURA, B.S., BEHLING, J.S., WETZEL, R.S., DUARTE Jr, R.S.S., SILVA, T.C., MENDES, P., NÓBREGA, A.V.V., NIENCHESKI, L.F.H., CALLIARI, L.J. *Gravitational tectonics evidences at RGS (Brazil) Coastal Plain using Ground Penetrating Radar. IWAGPR.* 2015.

VILLWOCK, J.A., TOMAZELLI, L.J., LOSS, E.L., DEHNHARDT, E.A., HORN FILHO, N.O., BACHI, F.A., DEHNHARDT, B.A. *Geology of the Rio Grande do Sul Coastal Province. Quaternary of South America and Antarctic Peninsula.* 4, 79-97. 1986.

ESTRUTURA FÍSICA E PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA MÁQUINA A RELUTÂNCIA VARIÁVEL PAUTADO EM PROTÓTIPO 8/6

Marcos José de Moraes Filho

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia elétrica
Uberlândia - Minas Gerais

Luciano Coutinho Gomes

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia elétrica
Uberlândia - Minas Gerais

Augusto Wohlgemuth Fleury Veloso da Silveira

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia elétrica
Uberlândia - Minas Gerais

Darizon Alves de Andrade

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia elétrica
Uberlândia - Minas Gerais

Josemar Alves dos Santos Junior

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás (IFG)
Itumbiara - Goiás

Wanberton Gabriel de Souza

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Engenharia elétrica
Uberlândia - Minas Gerais

RESUMO: Neste trabalho é apresentado o princípio de funcionamento da máquina a relutância variável, pautado em um protótipo da mesma com oito polos no estator e seis polos

no rotor (8/6). Atualmente tem-se que a máquina a relutância variável apresenta atrativos para inúmeras aplicações industriais, validando os esforços dos diversos grupos industriais e da comunidade científica para que esta máquina venha a ocupar uma posição de destaque dentro do conjunto de máquinas elétricas.

PALAVRAS-CHAVE: Ângulo do polo do estator, ângulo do polo do rotor, indutância, máquina a relutância variável.

PHYSICAL STRUCTURE AND WORKING PRINCIPLE OF SWITCHED RELUCTANCE MACHINE BASED ON PROTOTYPE 8/6

ABSTRACT: In this work, the switched reluctance machine principle of operation is shown, based on a prototype with eight poles in the stator and six poles in the rotor (8/6). Nowadays, the switched reluctance machine has shown many industrial applications, validating the efforts of many industrial groups and the scientific community so that this machine will occupy a prominent position within the electric machines group.

KEYWORDS: Inductance, rotor pole angle, stator pole angle, switched reluctance machine.

1 | INTRODUÇÃO

A máquina a relutância variável (MaRV) é

uma máquina elétrica na qual o torque é produzido pela tendência do rotor movimentar-se para a posição em que a indutância do enrolamento excitado é máxima, podendo esse movimento ser linear ou rotacional (MILLER, 2001). Energizando a fase da máquina na posição de equilíbrio estável, o rotor permanecerá parado indefinidamente. Por outro lado, energizando a fase da máquina na posição de equilíbrio instável, o rotor poderá se movimentar no sentido horário ou anti-horário buscando a posição de equilíbrio estável.

Apesar de apresentar registros conhecidos desde 1842 (KRISHNAN, 2001), e vantagens tanto construtivas quanto operacionais em relação às máquinas elétricas convencionais, tais como as máquinas de corrente contínua, de indução e síncronas, a máquina a relutância teve sua capacidade pouco explorada e com lenta evolução, principalmente devido à forte dependência de um sistema de chaveamento de suas fases e a necessidade do conhecimento da posição instantânea do rotor.

Nas últimas décadas, no entanto, vislumbramos grandes avanços de diversas áreas da engenharia elétrica, tais como a eletrônica de potência, microcontroladores, sistemas de sensoriamento, dentre outras, e muitas máquinas não convencionais vêm tornando-se objetos de estudos. Dentre estas máquinas tem-se a MaRV em diversas configurações, sendo acionada tanto como motor quanto gerador. Apesar de apresentar algumas limitações, a máquina a relutância variável mostra-se capaz de competir com máquinas convencionais em diversas aplicações.

2 | PROTÓTIPO UTILIZADO NO PROJETO

O protótipo utilizado neste trabalho, a fim de possibilitar a conexão entre teoria e modelo real, é uma máquina 8/6 com potência nominal de 2,2 kW (3 cv) e corrente nominal de 10 A; a qual foi desenvolvida dentro do laboratório que dá suporte ao projeto, desde as etapas referentes à definição das medidas e dos materiais, a modelagem, o estudo elétrico e magnético, simulações, findando em sua construção efetiva.

A Figura 1 retrata a localização das principais grandezas de projeto apresentadas na Tabela 1 através de suas siglas.

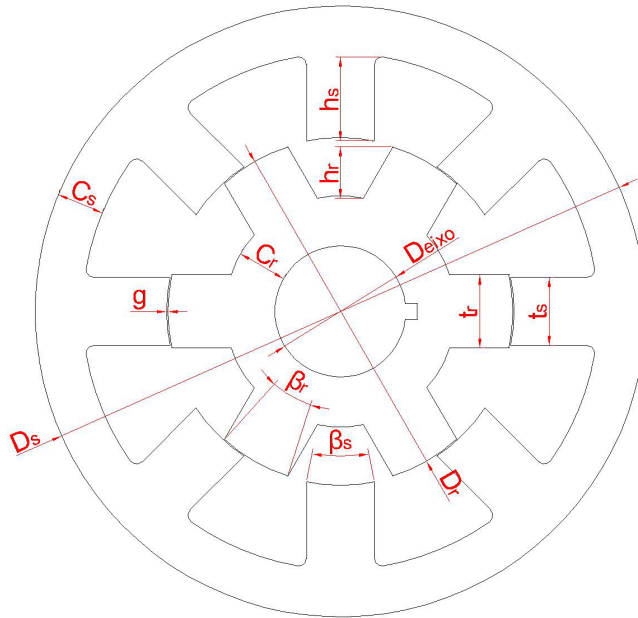


Figura 1 - Localização das grandezas de projeto.

Fonte: Autoria própria.

As principais grandezas e dimensões da MaRV 8/6 projetada seguem na Tabela

1.

Parâmetro	Siglas	MRV
Quantidade de polos no estator	N_s	8 polos
Quantidade de polos no rotor	N_r	6 polos
Potência nominal	P_n	2,2 kW (3 cv)
Velocidade nominal	ω_n	3500 rpm
Ângulo dos polos do rotor	β_r	24,5°
Ângulo dos polos do estator	β_s	22,5°
Diâmetro externo do estator	D_s	160 mm
Diâmetro do rotor	D_r	90,5 mm
Comprimento do entreferro	g	0,3 mm
Comprimento do rotor	l	63 mm
Largura dos polos do rotor	t_r	18,3 mm
Largura dos polos do estator	t_s	17,8 mm
Altura dos polos do rotor	h_r	15 mm
Altura dos polos do estator	h_s	22 mm
Culatra do rotor	C_r	13 mm
Culatra do estator	C_s	12,45 mm
Diâmetro do eixo	D_{eixo}	34,5 mm

Tabela 1 - Principais parâmetros da máquina foco deste estudo.

Fonte: Autoria própria.

A Figura 2 enfatiza a montagem final da máquina, a qual após projetada foi adaptada a fim de se utilizar a carcaça de um motor de indução trifásico, fornecedora WEG, modelo W22, 3 cv, 6 polos, modelo de carcaça 100 L e forma construtiva B3D (montagem na posição horizontal, motor com pés, eixo à direita olhando para a caixa de ligação). Com relação aos dados a exemplo: tensão nominal do motor, quantidade de terminais, fator de serviço, rendimento, dentre outros; não foram de grande importância, visto que a aquisição do motor foi focada basicamente em sua carcaça e forma construtiva.

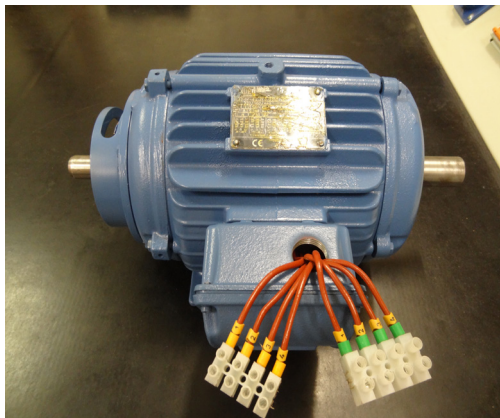


Figura 2 - Protótipo da MaRV 8/6.

Fonte: Autoria própria.

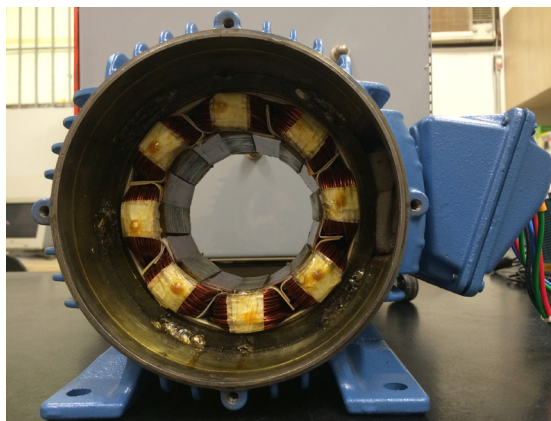


Figura 3 - Estator do protótipo.

Fonte: Autoria própria.

Na Figura 4 tem-se a ênfase no rotor da máquina projetada, o qual é construído com lâminas prensadas de forma que se tenham 6 polos. Na Figura 5 tem-se a relação entre os polos do estator e rotor, para a configuração 8/6 os polos do estator estão deslocados 45° mecânicos entre si, e os polos do rotor estão deslocados 60° mecânicos entre si.

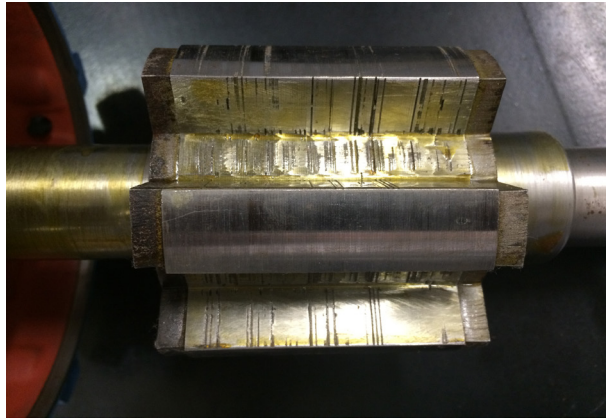


Figura 4 - Rotor do protótipo.

Fonte: Autoria própria.

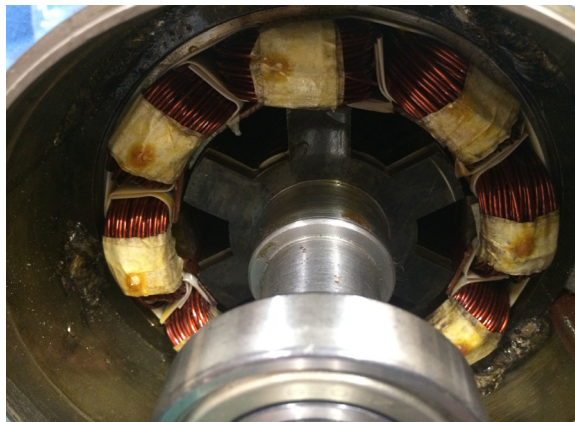


Figura 5 - Relação entre polos do estator e do rotor no protótipo.

Fonte: Autoria própria.

Todas as etapas de projeto desta máquina, inclusive as deduções matemáticas para se definir as medidas de todos os elementos da mesma são minuciosamente abordadas nas referências (BIANCHI; ANDRADE, 2015; MORAES FILHO et al., 2016).

3 | PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O princípio de funcionamento da MaRV baseia-se na variação da indutância, sendo o perfil desta grandeza afetado diretamente pelos valores angulares dos polos do estator e do rotor da máquina em questão. O ciclo do perfil de indutância para uma MaRV pode ser determinado matematicamente, tal que:

$$Ciclo = \frac{2\pi}{N_r} \quad (1)$$

Para uma máquina ideal tem-se que, enquanto não houver sobreposição entre os polos do estator e do rotor o sistema apresentará um valor mínimo de indutância

(L_{\min}), e quando os polos estiverem completamente sobrepostos, teremos o valor máximo de indutância (L_{\max}) (KRISHNAN, 2001; VIJAYRAGHAVAN, 2001). Na Figura 6 tem-se o perfil de indutância não saturado para uma das fases da MaRV 8/6.

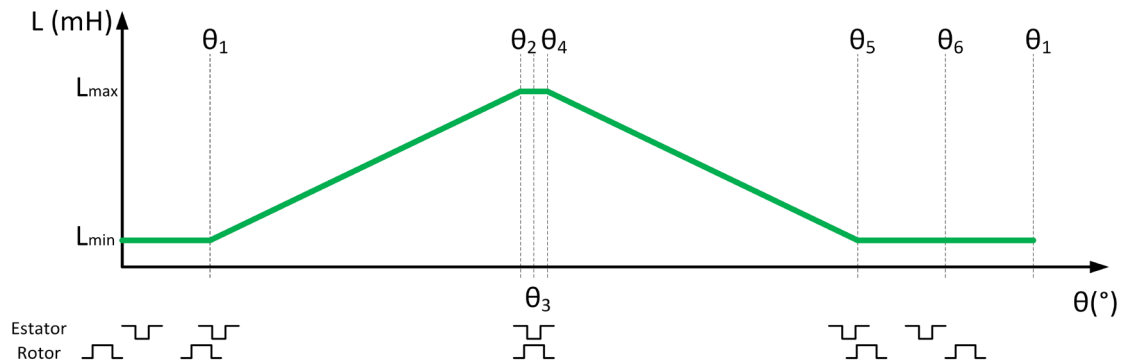


Figura 6 - Perfil de indutância para a MaRV não saturada.

Fonte: Autoria própria.

Ainda que não apresente-se em implementações práticas o perfil de indutância conforme ilustrada na Figura 6, devido à saturação magnética da MaRV (KRISHNAN, 2001), sabe-se que a saturação causa uma curvatura no perfil de indutância próximo aos pontos de alinhamentos dos polos do estator e do rotor, característica a qual exerce influência negativa no torque da máquina. Todavia, o perfil ideal denota alguns pontos angulares de grande importância para a compreensão do princípio de funcionamento da máquina, e também para o acionamento da mesma, seja como motor ou gerador.

Os valores de θ_1 a θ_6 são definidos em função da quantidade de polos do estator, do rotor, assim como os valores angulares destes dois elementos. A partir da equação 1 tem-se que o perfil de indutância se repetirá a cada 60° para a MaRV 8/6, assim inicia-se a análise de cada ponto destacado na Figura 6.

Ponto 0° : Neste ponto os polos do estator e do rotor estão completamente desalinhados, de forma que a distância entre seus centros será de π/Nr rad, conforme Figura 7.

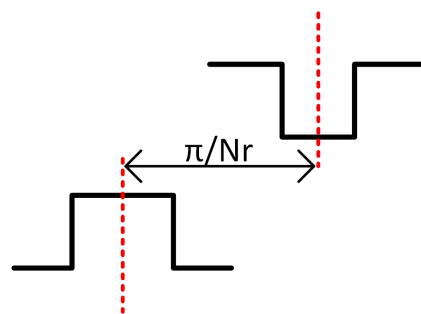


Figura 7 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para 0° .

Fonte: Autoria própria.

Ponto θ_1 : Neste ponto inicia-se a sobreposição dos polos do estator e do rotor,

momento no qual começamos a ter um perfil crescente de indutância a partir de L_{\min} .

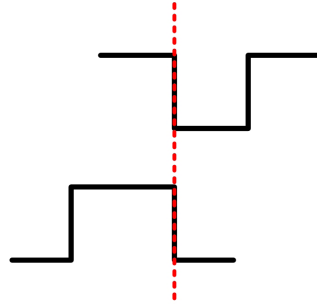


Figura 8 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para θ_1 .

Fonte: Autoria própria.

A partir dos dados da Tabela 1, pode-se calcular os valores específicos para os pontos abordados para a MaRV 8/6, tal que.

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \left[\frac{2\pi}{N_r} - (\beta_s + \beta_r) \right]$$

$$\theta_1 = \frac{1}{2} \left[\frac{360^\circ}{6} - (22,5^\circ + 24,5^\circ) \right] \quad (2)$$

$$\theta_1 = 6,5^\circ$$

Portanto, a partir do ponto tomado como referência de 0° até o ponto angular θ_1 , ocorrerá um deslocamento de $6,5^\circ$ do rotor em relação ao estator.

Ponto θ_2 : Entre os pontos θ_1 e θ_2 existirá um perfil crescente de indutância, visto que em θ_1 tem-se o início da sobreposição dos polos do estator e do rotor, e em θ_2 os polos estão completamente sobrepostos. O deslocamento angular entre os pontos supracitados é equivalente a medida do ângulo do polo do estator, tal que o posicionamento relativo entre os polos do rotor e do estator para este ponto é ilustrado na Figura 9.

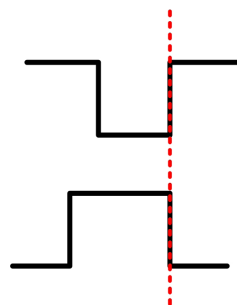


Figura 9 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para θ_2 .

Fonte: Autoria própria.

Equacionando-se este ponto, tem-se:

$$\theta_2 = \theta_1 + \beta_s$$

$$\theta_2 = 6,5^\circ + 22,5^\circ \quad (3)$$

$$\theta_2 = 29^\circ$$

Ponto θ_3 : Neste ponto teremos o alinhamento completo entre os polos do estator e do rotor, pois, seus centros estão alinhados, Figura 10. O deslocamento para atingir este ponto a partir de θ_2 é igual a metade da diferença entre as medidas angulares dos polos do rotor e do estator. Neste momento a indutância ainda mantém seu valor máximo, visto que a sobreposição entre os polos é mantida.

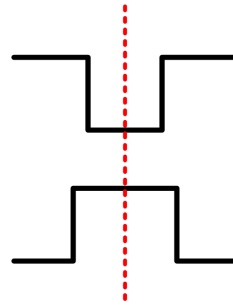


Figura 10 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para θ_3 .

Fonte: Autoria própria.

Equacionando-se este ponto, tem-se:

$$\theta_3 = \theta_2 + \left(\frac{\beta_r - \beta_s}{2} \right)$$

$$\theta_3 = 29^\circ + \left(\frac{24,5^\circ - 22,5^\circ}{2} \right) \quad (4)$$

$$\theta_3 = 30^\circ$$

Ponto θ_4 : Neste ponto a sobreposição ainda é mantida, Figura 11, entretanto, a partir do mesmo o perfil da indutância tornara-se decrescente. O deslocamento angular em relação ao ponto anterior será novamente a metade da diferença entre as medidas angulares dos polos do rotor e do estator.

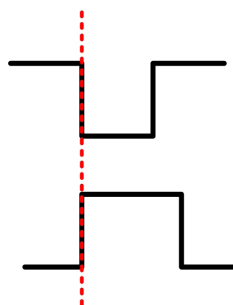


Figura 11 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para θ_4 .

Fonte: Autoria própria.

Equacionando este ponto teremos:

$$\theta_4 = \theta_3 + \left(\frac{\beta_r - \beta_s}{2} \right)$$

$$\theta_4 = 30^\circ + \left(\frac{24,5^\circ - 22,5^\circ}{2} \right) \quad (5)$$

$$\theta_4 = 31^\circ$$

Ponto θ_5 : Entre os pontos θ_4 e θ_5 dispõe-se de um perfil decrescente de indutância, visto que no decorrer deste deslocamento a sobreposição dos polos está sendo reduzida, até atingir θ_5 , ponto no qual não existe sobreposição entre os polos do estator e do rotor, e a indutância atinge o valor mínimo. Entre os pontos θ_4 e θ_5 o deslocamento angular é equivalente a medida do ângulo do polo do estator, conforme enfatizado na Figura 12.

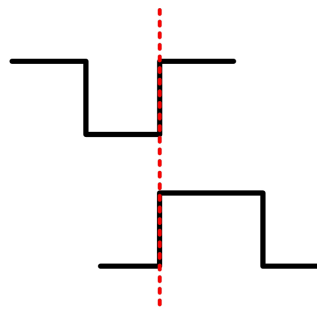


Figura 12 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para θ_5 .

Fonte: Autoria própria.

Obtém-se o valor de θ_5 de forma que:

$$\theta_5 = \theta_4 + \beta_s$$

$$\theta_5 = 31^\circ + 22,5^\circ \quad (6)$$

$$\theta_5 = 53,5^\circ$$

Ponto θ_6 : Neste ponto tem-se novamente os polos do estator e do rotor totalmente desalinhados, conforme Figura 13.

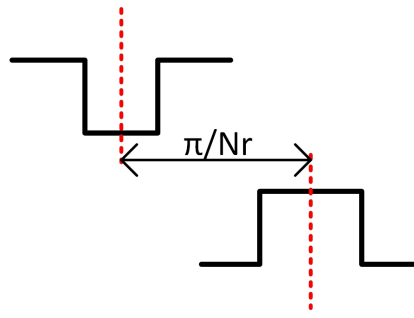


Figura 13 - Posicionamento entre os polos do estator e do rotor para θ_6 .

Fonte: Autoria própria.

Matematicamente a partir de θ_5 obtém-se:

$$\theta_6 = \theta_5 + \frac{\pi}{N_r} - \left(\frac{\beta_s + \beta_r}{2} \right) = \frac{2\pi}{N_r}$$

$$\theta_6 = \frac{360^\circ}{6} \tag{7}$$

$$\theta_6 = 60^\circ$$

Findada a análise no ponto angular θ_6 , compõe-se um período completo para o perfil de indutância da MaRV. Dois conceitos angulares importantes quando se analisa o perfil de indutância para efetuar o acionamento da máquina em questão são: zona de torque efetivo (τ_e) e o ângulo de condução de energia (ε).

A zona de torque efetivo indica o ângulo através do qual uma fase pode produzir torque útil comparável ao torque nominal, e é análoga ao menor arco oriundo da sobreposição entre os polos do rotor e do estator (MILLER, 2001), logo:

$$\tau_e = \beta_s \tag{8}$$

O ângulo de condução de energia representa o intervalo de comutação de uma fase para outra em um ciclo mecânico da máquina, e de forma analítica é definido por (MORAES FILHO; BIANCHI, 2016):

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{\frac{N_s}{2} N_r} \tag{9}$$

No caso específico da MaRV, foco deste trabalho, teremos:

$$\tau_e = 22,5^\circ \tag{10}$$

$$\varepsilon = 15^\circ$$

A importância destes ângulos encontra-se no fato de que durante o acionamento, a fim de garantir o melhor aproveitamento da máquina, é interessante que seja mantido o ângulo de condução com um valor inferior a $22,5^\circ$ para cada fase, a partir do momento em que se inicia a sobreposição dos polos, evitando a geração de torque em sentido contrário. Com relação ao ângulo de condução de energia, este indica a partir de qual ponto inicia-se a sobreposição das fases, ou seja, 15° após a sobreposição dos polos ocorrerá um perfil de indutância crescente da fase subsequente, observado na Figura 14, o que permite que seja tomada a decisão de durante o acionamento se trabalhar ou não com fases sobrepostas.

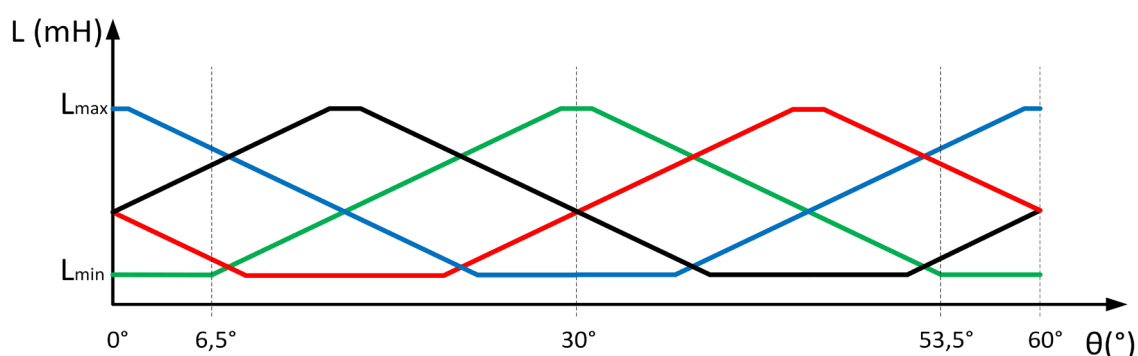


Figura 14 - Perfil de indutância ideal para as quatro fases da MaRV 8/6.

Fonte: Autoria própria.

Todas as fases apresentam perfis de indutância idênticos, todavia, com um deslocamento ao longo do eixo horizontal. Para que a MaRV seja acionada como motor é necessário que a magnetização das fases seja efetuada durante o crescimento do valor da indutância, em relação à variação da posição rotórica, e de forma a sempre acionar as fases sequencialmente. Para que a MaRV seja acionada como gerador é necessário que a magnetização das fases da máquina ocorra durante o decrescimento do valor da indutância, em relação à variação da posição rotórica, e também de forma sequencial. Portanto, no tocante ao acionamento como motor ou gerador a MaRV é extremamente versátil, exigindo basicamente o ajuste do momento da magnetização de suas fases para operar de acordo com a forma desejada.

Ao longo do desenvolvimento exposto foram utilizados os valores angulares dos polos do rotor e do estator para a máquina foco do trabalho, porém, tanto as figuras quanto o equacionamento são válidos para qualquer MaRV, independentemente da quantidade de polos do rotor e do estator, assim como o valor dos ângulos dos mesmos.

4 | CONCLUSÕES

A MaRV mostra-se como uma máquina com potencial a contribuir com as fontes

motrizes atualmente utilizadas, focando principalmente no aspecto que tange a controle de conjugado e eficiência energética.

A fim de estimular o uso da MaRV este trabalho vem disseminar o princípio de funcionamento e algumas particularidades relativas a esta máquina, pois, dentre os diversos setores nos quais a MaRV pode agregar contribuições, atualmente destacam-se: setor aeronáutico e espacial, automotivo, principalmente na área de tração elétrica, e na geração de energia eólica. Os estudos referentes às MaRVs concentram-se em aplicações nas quais necessitam-se de velocidades variáveis e, em que há a presença da eletrônica de potência, pois, nestas aplicações mesmo máquinas convencionais como as máquinas de indução, máquinas de corrente contínua ou máquinas síncronas necessitam de conversores eletrônicos.

5 | AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPEMIG, à Capes e ao CNPq pelo apoio financeiro, e à Universidade Federal de Uberlândia pela infraestrutura disponibilizada.

REFERÊNCIAS

BIANCHI, R. B.; ANDRADE, D. A. **Projeto, Modelagem e Levantamento de Curva de Indutância de Máquina a Relutância Variável 8x6 Utilizando Elementos Finitos**. XI Conferência Brasileira sobre Qualidade da Energia Elétrica - XI CBQEE. Campina Grande - PB. 2015.

KRISHNAN, R. **Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications**. CRC Press 2001. 432. ISBN ISBN-10: 0849308380. ISBN-13: 9780849308383.

MILLER, T. J. E. **Electronic Control of Switched Reluctance Machines**. Newnes, 2001. 272. ISBN ISBN-10: 0750650737. ISBN-13: 9780750650731.

MORAES FILHO, M. J.; BIANCHI, R. B.; et al. **Projeto de máquina a relutância variável 8/6 e impacto do ângulo do polo do rotor em seu desempenho**. XXI Congresso Brasileiro de Automática - CBA 2016. Vitória - ES. 2016.

VIJAYRAGHAVAN, P. **Design of Switched Reluctance Motors and Development of a Universal Controller for Switched Reluctance and Permanent Magnet Brushless DC Motor Drives**, dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in electrical engineering, 2001.

VARIAÇÃO DA PERDA DE CARGA NA MANGUEIRA EM FUNÇÃO DE SEU ENROLAMENTO

Diogo Henrique Morato de Moraes

Universidade Federal de Goiás, Escola de
Agronomia
Goiânia - Goiás

Ricardo Marques da Silva Viegas

Universidade Federal de Goiás, Escola de
Agronomia
Goiânia - Goiás

Dione Monteiro de Moraes

Instituto Federal Goiano, Departamento de
Engenharia Agrícola
Urutaí – Goiás

Matheus Henrique Morato de Moraes

Universidade Federal de Goiás, Unidade
Acadêmica Especial de Engenharia
Catalão – Goiás

Marcio Mesquita

Universidade Federal de Goiás, Escola de
Agronomia
Goiânia - Goiás

RESUMO: Os sistemas de irrigação por aspersão devem ser manejados de modo a fornecer água, fazendo com que a umidade do solo permaneça sempre em condições ótimas para a cultura, com a finalidade de maximizar o lucro. Apesar de ao longo dos anos haver uma diminuição do uso do sistema de aspersão por carretel enrolador, em função das altas pressões utilizadas, porém esse sistema ainda

é largamente utilizado no Brasil, especialmente nas regiões produtoras de cana de açúcar. Assim, este trabalho teve como objetivo verificar o quanto é significativo as alterações hidráulicas à medida que uma mangueira é enrolada em torno de um carretel em função do diâmetro do enrolamento e o número de camadas enroladas, analisado através de modelo reduzido de um carretel enrolador comercialmente vendido no Brasil. Para isso, verificou-se a vazão a cada volta completada pela mangueira no carretel, utilizando-se assim a equação universal de Darcy – Weisbach , para definir o acréscimo na perda de carga a cada volta. Assim, observamos que o acréscimo na perda de carga por volta completada, corresponde a aproximadamente 0,0345 mca. Concluindo assim que o cálculo desse incremento é bastante significativo, uma vez para uma boa distribuição de água em sistemas de irrigação, é diretamente influenciado pela pressão da água no aspersor. **PALAVRAS-CHAVE:** irrigação, aspersão, perda de carga, carretel enrolador, autopropelido.

VARIATION OF THE HEAD OF LOSS IN THE HOSE ACCORDING TO ITS WINDING

ABSTRACT: The sprinkler irrigation systems should be managed to provide water, so that the soil moisture remains always in optimal conditions for culture, in order to maximize profit

(Santos, 2010). Although there has been a decrease in the use of the sprinklers system over the years due to high pressures, this system is still widely used in Brazil, especially in the sugar cane producing regions. Thus, this work aimed to check how much is significant the hydraulic changes to the measure as a hose is wound around a spool winder, depending on the winding diameter and the number of layers coiled, analyzed by the reduced scale model of a spool, sold commercially in Brazil. For this, the flow rate was verified at each turn completed by hose on the spool, using the universal equation of Darcy-Weisbach to define the increase in head loss at each turn. Thus, we observe that head loss per lap completed, corresponds to approximately 0.0345 mca. Completing the calculation of the increase is quite significant, once for a good distribution of water in irrigation systems, it is directly influenced by water pressure interference.

KEYWORDS: irrigation, sprinkler, head loss, wind reel, self-propelled.

1 | INTRODUÇÃO

Em qualquer sistema de irrigação é aceitável um certo grau de desuniformidade, resultando em áreas irrigadas em excesso ou déficit. No sistema de irrigação por carretel enrolador esta uniformidade na distribuição de água é influenciada pelo tipo de perfil de distribuição do aspersor, pela velocidade, direção do vento, pressão de serviço, uniformidade de rotação do aspersor, altura de elevação do aspersor, diâmetro e tipo de bocal dos aspersores (Rosa, 1986 apud Rocha et al. 2005).

Segundo Rochester et al. (1990), a operação de um autopropelido envolve o enrolamento da mangueira no carretel enrolador durante a irrigação. Este processo de enrolamento causa mudanças na perda de carga na mangueira, conseqüentemente nas características hidráulicas da máquina, ainda salienta que essas mudanças foram notadas em estudos anteriores e que existe um quantitativo limitado de trabalhos nessa área. Como os aspersores que equipam os carretéis enroladores encontrados no mercado não são equipamento que disponham de sistema de compensação de pressão e como o enrolamento da mangueira provoca alterações nas condições hidráulicas do sistema, eles podem ter sua vazão modificada durante o seu trajeto e conseqüentemente causar desuniformidade na lâmina aplicada.

Segundo Collier e Rochester (1980), um fator que afeta a uniformidade de aplicação de água é a variação da pressão ao longo da linha de deslocamento do aspersor e essas mudanças na pressão e vazão são causados pelo enrolamento da mangueira em volta do carretel.

De acordo com Oakes e Rochester (1980), o contínuo enrolamento da mangueira durante a irrigação provoca o incremento na resistência a vazão. Experimentos mostraram um pequeno aumento na pressão de entrada e redução na vazão durante o processo de irrigação.

Segundo Santos (2010) trabalhando com modelo reduzido, à medida que a

mangueira é enrolada no carretel ocorre um aumento da resistência ao enrolamento em função da curvatura da mangueira em torno do carretel em função do incremento do fator de atrito e o valor do incremento foi de 16,1% e 28,3% respectivamente para carretel HR125/400 e HR 130/330 da Empresa Metal Lavras.

Para que não ocorra a variação principalmente da pressão que é responsável direta das demais uniformidades, é interessante que não ocorra variação das perdas calculadas para o carretel enrolador, sendo seu estudo de altíssima relevância para uma grande quantidade de produtores que se utilizam destes equipamentos. Quanto mais informações temos dos equipamentos, melhor eficiência conseguimos deles.

Portanto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar os fenômenos hidráulicos que ocorrem nos carretéis enroladores, em função do enrolamento da mangueira durante todo o seu deslocamento, para determinação da variação das pressões iniciais e finais ao longo de determinado trecho, durante todo seu enrolamento. Foram analisados a variação da perda de carga, a velocidade e a mudança do regime de fluxo a cada volta.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no laboratório de hidráulica do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia Goiano, Campus de Urutaí, Goiás e avaliou o incremento da perda de carga que ocorre na mangueira dos carretéis enroladores em função do diâmetro do enrolamento e do número de camadas enroladas, trabalhando com um modelo reduzido de carretel enrolador.

No modelo reduzido utilizou-se uma mangueira cristal de 6,1 mm (milímetros) de diâmetro interno e seu carretel foi reduzido na mesma proporção da relação entre o diâmetro externo da mangueira do carretel enrolador e do diâmetro externo da mangueira de cristal usada no experimento. O equipamento escolhido foi o carretel enrolador Mini 63 da Metal Lavras, que possui o carretel com diâmetro de 1 metro. O modelo do carretel será reduzido em 8,8 vezes o seu tamanho original, tendo diâmetro de 0,114 m ou 114 mm. Este equipamento possibilita um comprimento máximo da mangueira em 200 m, sendo acomodada no carretel enrolador com 13 voltas por camada, num total de quatro camadas, ficando a quarta camada incompleta. O mesmo acomodamento ocorreu com a mangueira cristal no modelo reduzido cujo comprimento foi de 22,7 m.

Os ensaios foram realizados com a pressão sendo fornecida por caixas elevadas a uma altura de três metros.

Foi avaliada a variação da perda de carga com a mangueira completamente esticada (desenrolada) e a cada volta no carretel até o seu completo enrolamento. Para cada volta houve determinação da vazão, a partir do método volumétrico, que se baseia na medição do tempo decorrido para que um determinado fluxo de água ocupe um recipiente com volume conhecido (Equação 1).

$$Q = \frac{V}{T} \quad \text{Equação (1)}$$

Em que, Q corresponde a vazão média ($L s^{-1}$), V o volume de água observado (L) e T o tempo (s)

As leituras de vazão foram realizadas em três repetições a cada volta, para determinação de uma vazão média, conforme Equação 2.

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{3} \quad \text{Equação (2)}$$

Em que Q1, Q2 e Q3 correspondem as vazões observadas ($L s^{-1}$)

A tensão de enrolamento ocasionada ao decorrer do experimento, pelo atrito do fluido com a parede da mangueira na sua volta total, mostra a necessidade da verificação da mudança de regime durante o experimento. O que torna então o número de Reynolds (Equação 3) e a velocidade (Equação 4) fatores de importante relevância na caracterização. Dessa forma ambas as grandezas foram analisadas para o melhor entendimento da variação hidráulica, de regime e escoamento que foram observadas durante o experimento.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad \text{Equação (3)}$$

Em que, R corresponde ao número de Reynolds (adimensional), V a velocidade do fluido ($m s^{-1}$), D o diâmetro do conduto (m) e ν a viscosidade do fluido ($m^2 s^{-1}$).

$$V = \frac{Q}{\left(\frac{\pi \cdot D^2}{4}\right)} \quad \text{Equação (4)}$$

Para os cálculos de perda de carga, após a coleta dos dados, foi utilizada, a equação de Darcy-Weisbach (Equação 5) que é uma das mais completas para o cálculo da perda de carga em tubulações, já que envolve todas as variáveis responsáveis pelo fenômeno. Sua fórmula é representada por h_f , em que o fator de atrito f varia de acordo com a condição de escoamento e deve ser determinado por meio de equações matemáticas para cada regime.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad \text{Equação (5)}$$

Sendo, h_f a perda de carga (m), f o fator de atrito (adimensional), L o comprimento do conduto (m), e g a aceleração da gravidade ($m s^2$).

Considerou-se Re maior que 4×10^3 como regime turbulento com o intuito de evitar as incertezas de representação do fenômeno de perda de carga em regime de transição. No regime turbulento em tubos lisos, Blasius propôs a seguinte equação (Equação 6), fundamentada nas leis da similaridade, que é dada em função apenas do número de Reynolds, válida para $4 \times 10^3 \leq Re \leq 10^5$.

$$f = \frac{c}{Re^m} \quad \text{Equação (6)}$$

Em que, c e m são os coeficientes de Blasius, 0,316 e 0,25, respectivamente.

Para Juana et al. (2002), a introdução do fator de atrito de Blasius na equação de Darcy - Weisbach promove uma estimativa precisa das perdas de carga em regimes turbulentos com baixa rugosidade para $3 \times 10^3 \leq Re \leq 10^5$. Bernuth (1990) comenta que a combinação dessas duas equações resulta em uma equação dimensionalmente homogênea, exata para tubos plásticos quando $Re \leq 10^5$, e adequada para tubos de pequenos diâmetros, já que Re nesse intervalo não é restritivo em sistemas com diâmetros inferiores a 80 mm, salienta ainda que a equação de Blasius superestima o valor de f quando $Re < 4 \cdot 10^3$.

Para $10^3 \leq Re \leq 10^5$, o regime de escoamento é turbulento, e a aplicação da Equação 6 com os coeficientes de Blasius pode superestimar o fator f em mais de cinco vezes (Bernuth e Wilson, 1989), embora a perda de carga nesse regime de escoamento seja muito pequena. Para este caso, o fator f pode ser aproximado pela Equação 7, conforme recomenda por Brkic (2011).

$$\beta = \ln \frac{Re}{1,816 \ln \left(\frac{1,1Re}{\ln(1+1,1Re)} \right)} \quad \text{Equação (7)}$$

$$f = \left[-2 \log \left(\frac{2,18 \beta}{Re} + \frac{\epsilon}{3,71} \right) \right]^{-2} \quad \text{Equação (8)}$$

A perda localizada de carga foi calculada pela variação da energia cinética multiplicada por um fator K (Equação 8).

$$hfL = k n \frac{V^2}{2g} \quad \text{Equação (8)}$$

Em que, hfL é a perda de carga localizada (m), n o número de voltas, e K o coeficiente de carga cinética ou de resistência de perfil (adimensional).

Os valores experimentais de perda de carga nos microtubos foram utilizados para calcular o fator de atrito da equação de Darcy-Weisbach (equação 5). Explicitou-se f em função de hf , L , D e $V^2/2g$. O coeficiente c foi calculado para m igual a 0,25 por meio de regressão linear entre f e $Re^{-0,25}$, assim como o realizado por Zitterell (2009), trabalhando com perdas localizadas geradas por microtubos e conectores.

3 | RESULTADOS E DISCUÇÕES

Apresentam-se na Figura 1 as perdas de carga observadas experimentalmente em função da vazão medida a cada volta completa que foi dada em torno do carretel. Na Figura 2 a variação do número de Reynolds em função da vazão medida a cada volta completa que foi dada em torno do carretel.

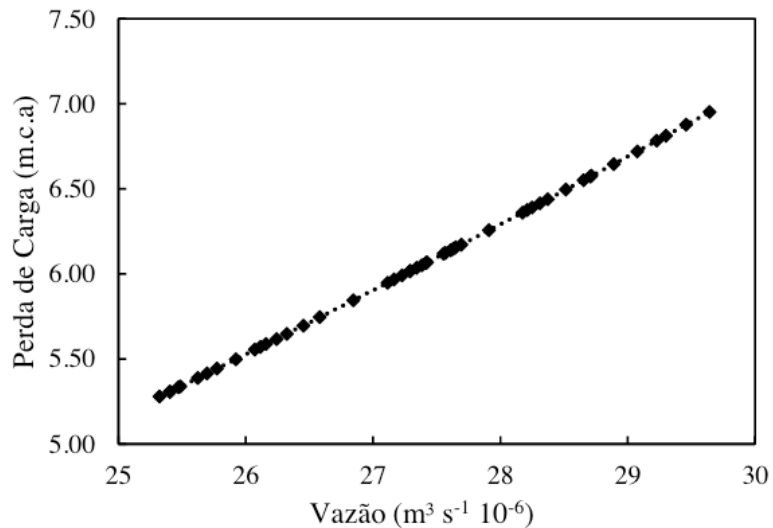


FIGURA 1. Perda de carga unitária (m) em 22,7 metro de mangueira em função da vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) durante todo enrolamento da mangueira.

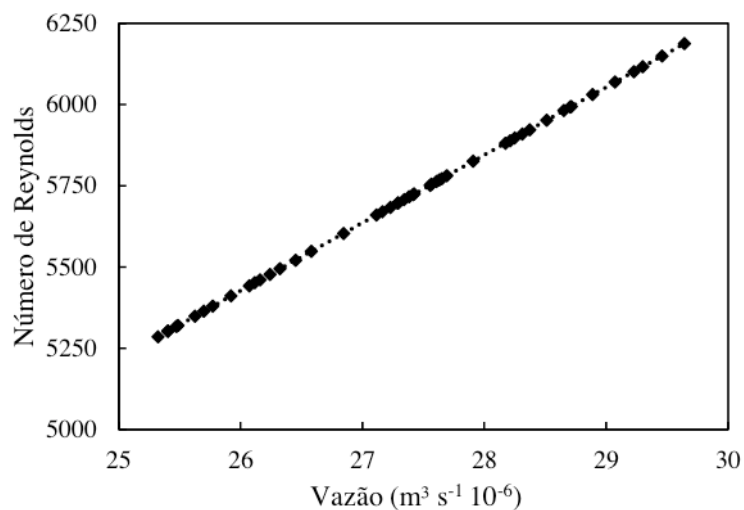


FIGURA 2. Número de Reynolds em 22,7 metro de mangueira em função da vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) durante todo enrolamento da mangueira.

Equação de Perda de Carga Unitária	R^2
$H_{fm} = 6,56 \cdot 10^8 Q^{1,74}$	0,999

TABELA 1. Equações de perda de carga (m) em 22,7 m de mangueira em função da vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

O expoente da vazão foi de 1,75. De acordo com Streeter & Wylie (1982), citado por CAIXETA (1991), as perdas de carga são proporcionais às potências de 1,7 a 2,0 da velocidade média. De modo semelhante, o expoente da equação de Darcy-Weisbach com f calculado pela equação de Blasius é igual a 1,75. Esses valores caracterizam o regime de escoamento turbulento e são muito próximos dos valores encontrados neste trabalho, já que todo o fluido em todo o regime de escoamento trabalhou na zona de transição do regime turbulento, como pode ser observado na

Figura 2, que representa o número de Reynolds em função da vazão observada.

A Figura 3, apresenta-se a relação entre os fatores de atrito observados e $Re^{-0,25}$, para Re entre 5.303 e 6.149.

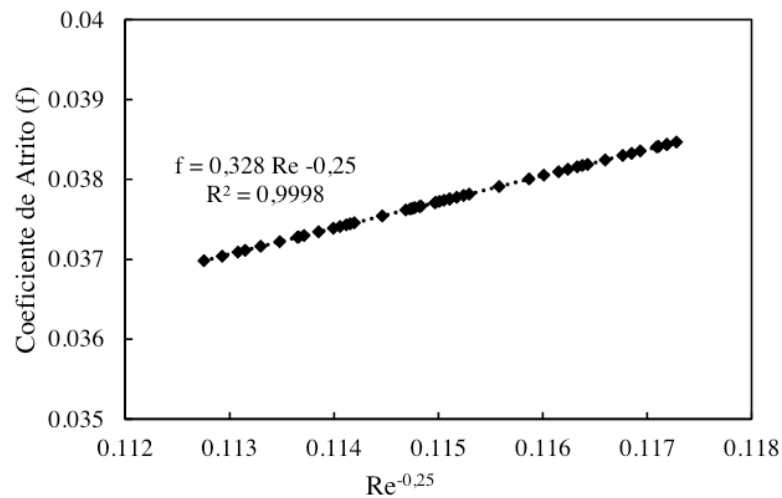


FIGURA 3. Relação entre fator de atrito f e $Re^{-0,25}$ obtida pelo ajuste dos dados experimentais.

O coeficiente c (0,290) foi obtido por meio de regressão linear para $m = 0,25$, com $R^2 = 0,878$. Bagarello et al. (1995), utilizando tubos de diâmetros 16; 20 e 25 mm encontraram $c = 0,302$ para $m = 0,25$ e Re entre 3×10^3 e $3,1 \times 10^4$. Cardoso et al. (2008) encontraram para tubos de polietileno de baixa densidade de diâmetros 10; 13; 16,3; 17,4 e 19,7 mm $c = 0,300$, com o número de Reynolds variando entre 5×10^3 e $6,8 \times 10^4$, enquanto Neto et al. (2009) encontrou para tubos de polietileno de diâmetro 15,5 mm e Re entre 8.244 e 35.127 o valor de $c = 0,296$. Zitterell et al. (2009), trabalhando com microtubos encontraram $c = 0,290$. O aumento do valor do coeficiente de atrito pode ser justificado pela diminuição do diâmetro dos condutos, já que Frizzone (1998) e Vilela et al. (2003) justificam a diminuição do valor pelo aumento de diâmetro dos tubos de polietileno quando submetido à pressão porque os atuais tubos de polietileno apresentam paredes internas mais lisas e polidas que os tubos utilizados por Blasius, efeito das melhorias decorrentes nos processos de fabricação.

O coeficiente K depende do número de Reynolds e das características geométricas da conexão. Na Figura 4, observa-se que os valores de K , para cada volta completada da mangueira, variam muito pouco com Re a partir de, aproximadamente, $Re > 6 \times 10^3$. Para valores de $Re < 5 \times 10^3$ K aumenta com a redução de Re , como foi observado por Neto et al. (2009). Entretanto quando distribuídos pelo número de voltas completadas podemos observar uma padronização do coeficiente, o que pode ser justificado por uma distribuição igualitária das perdas no decorrer do enrolamento da mangueira em torno do carretel enrolador (Figura 5).

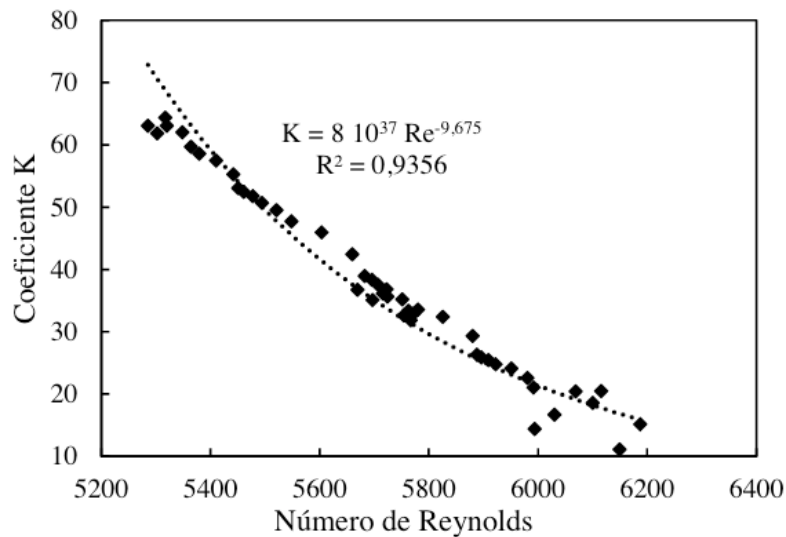


FIGURA 4. Relação entre coeficiente de carga cinética e número de Reynolds obtida pelo ajuste dos dados experimentais.

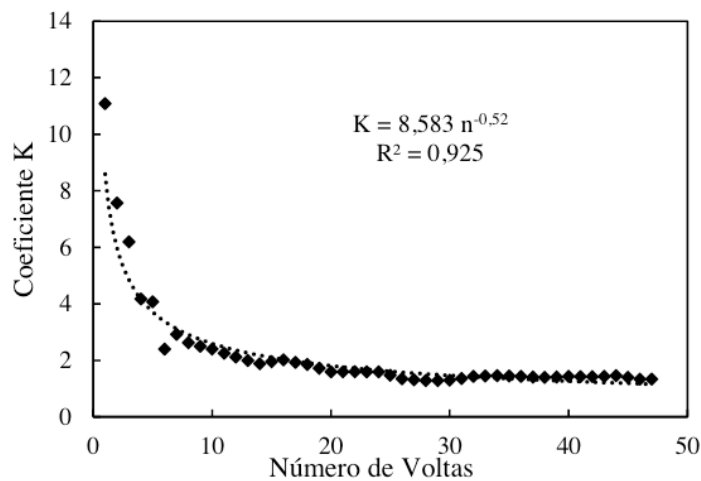


FIGURA 5. Relação entre coeficiente de carga cinética e número de voltas completadas obtida pelo ajuste dos dados experimentais.

Com o coeficiente de carga cinética com um coeficiente de variação maior que 92% seja em função do número de Reynolds ou em função do número de voltas completadas, observou-se que, a uniformidade dos valores de K fazem com que exista realmente uma relação entre o enrolamento da mangueira e a perda de carga cinemática ocasionada pelo enrolamento completo por volta da mangueira em torno do carretel, assim estabelecendo uma razão entre a perda de carga e o número de voltas completadas como observado na Figura 6.

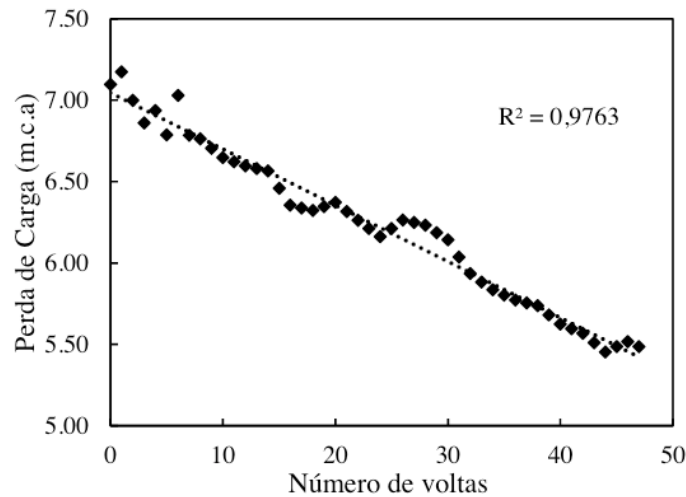


FIGURA 6. Relação entre a perda de carga e número de voltas completadas obtida pelo ajuste dos dados experimentais.

Assumindo a validade prática da perda de carga localizada expressa em números de voltas completadas, a perda de carga total na mangueira pode ser calculada em da pressão de entrada (P_{in} , em m) e do número de voltas completadas (n , adimensional). (equação 9).

$$P_{fin} = P_{in} - 0,0345n \quad \text{Equação (10)}$$

Em que, P_{fin} é a pressão final e P_{in} a pressão inicial, ambas em mca.

4 | CONCLUSÕES

- a) À medida que a mangueira completa uma volta, ocorre um aumento da resistência ao escoamento, em função da curvatura da mangueira em torno do carretel em função do aumento do valor do fator de atrito.
- b) Com o enrolamento da mangueira no carretel, há um acréscimo da perda de carga, em função do aumento da resistência do escoamento e conseqüentemente o aumento do valor do fator de atrito.
- c) Durante o ensaio, foi possível observar que o coeficiente c e m propostos por Blasius subestimavam os valores de perda de carga obtidos, sendo assim necessário o reajuste desses valores.
- d) Durante o ensaio, foi possível observa uma variação das perdas calculadas foi de cerca de 22,7%, sendo que foi possível observar um acréscimo por volta completa de 0,0345 mca.
- e) A variação de vazão entre a mangueira totalmente esticada e totalmente enrolada foi de 13,8%.

REFERÊNCIAS

- BAGARELLO, V.; FERRO, V.; PROVENZANO, G.; PUMO, D. Experimental study on flow resistance law for small-diameter plastic pipes. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.121, n.5, p.313-316, 1995.
- BERNUTH, R.D. Von. Simple and accurate friction loss equation for plastic pipe. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.116, n.2, p.294-298, 1990.
- BERNUTH, R.D. Von; WILSON, T. Friction factor for small diameter plastic pipes. **Journal of Hydraulics Engineering**, New York, v.115, n.2, p.183-192, 1989.
- BRKIC, D.. Review of explicit approximations to the Colebrook relation for flow friction. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, 77, pp.34-48, 2011.
- CAIXETA, A.V. **Perda de carga em tubos e conexões de PVC utilizados em sistemas portáteis de irrigação por aspersão**. 1991. 127 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.
- CARDOSO, G.G.G.; FRIZZONE, J.A.; REZENDE, R. Fator de atrito em tubos de polietileno de pequenos diâmetros. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.30, n.3, p.299-305, 2008.
- COLLIER, L. C.; ROCHESTER, E.W. **Water application uniformity of hose towed traveler irrigators**. St. Joseph. ASAE, p1135-1138, 1980.
- FRIZZONE, J.A.; VIEIRA, A.T.; PAZ, V.P.S. Caracterização hidráulica de um tubo gotejador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina grande, v.2, n.3, p.278-283, 1998.
- JUANA, L.; RODRIGUES-SINOBAS, L.; LOSADA, A. Determining minor head losses in drip irrigation laterals. I: Methodology. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.128, n.6, p.376-384, 2002.
- OAKES, P.L.; ROCHESTER, E.W. **Energy utilization of hose towed traveler irrigators**. St. Joseph. ASAE, p1131-1134, 1980.
- RETTORE NETO, O.; FRIZZONE, J. A.; MIRANDA, J. H.; BOTREL, T. A. Perda de carga localizadas em emissores não coaxiais integrados a tubos de polietileno. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.29, n.1, p.28-39, 2009a
- ROCHA, F.A.; PEREIRA, G.M.; ROCHA, F.S. e SILVA, J.O. Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 1, p.96-106, 2005.
- ROCHESTER; E.W., FLOOD JR.; C.A., HACKWELL, S.G. **Pressure losses from hose coiling on hard-hose travelers**. St. Joseph. ASAE, 1990. p834-838.
- SANTOS, M.V.M.S.; **Caracterização hidráulica de cerretéis enroladores durante o seu deslocamento**. Lavras: UFLA, 2010, 106 p. (tese – Doutorado em Engenharia de Água e Solo).
- VILELA, L.A.A.; SOCCOL, O.J.; GERVÁZIO, E.S.; FRIZZONE, J.A.; BOTREL, T.A. Alteração no diâmetro de tubos de polietileno submetidos a diferentes pressões. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.182-185, 2003.
- ZITTERELL, D.B. et al. Perda de carga em microtubos e conectores utilizados em microaspersão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 591-604, 2009.

ÍNDICE DE DESEMPENHO DE MISTURAS TERNÁRIAS CONTENDO CIMENTO PORTLAND SÍLICA DE CASCA DE ARROZ E NANOSSÍLICA COLOIDAL

Daniel da Silva Andrade

Universidade Estadual de Goiás, Departamento
de Arquitetura e Urbanismo
Anápolis - GO

Josué Régio Damaceno

Universidade Estadual de Goiás, Departamento
de Arquitetura e Urbanismo
Anápolis - GO

Laércio Breno Moreira

Universidade Estadual de Goiás, Departamento
de Arquitetura e Urbanismo
Anápolis - GO

Aline Alves de Almeida

Universidade Estadual de Goiás, Departamento
de Arquitetura e Urbanismo
Anápolis - GO

João Henrique da Silva Rêgo

Universidade de Brasília, Faculdade de
Tecnologia
Brasília - DF

RESUMO: As adições minerais podem ser associadas em diversas combinações e teores, criando-se misturas de cimento com dois tipos de adição, as quais são denominadas misturas ternárias. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o índice de desempenho de misturas ternárias, contendo cimento Portland, sílica de casca de arroz e nanossílica coloidal. Foram produzidas argamassas de acordo com o método

descrito na NBR 5752 - Materiais pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias (ABNT, 2014). A sílica de casca de arroz, utilizada individualmente e em conjunto com a nanossílica coloidal, exerceram influências relevantes na resistência à compressão das argamassas, demonstrando grande potencialidade para a utilização destes materiais em concretos, de forma geral.

PALAVRAS-CHAVE: Nanossílica, pozolana, cimento Portland, sílica de casca de arroz

PERFORMANCE INDEX OF TERNARY MIXTURES CONTAINING PORTLAND CEMENT RICE BARK GRAY AND COLLOIDAL NANOSYLIC

ABSTRACT: Mineral additions can be associated in various combinations and contents, creating cement mixtures with two types of addition, which are called ternary mixtures. This research aims to evaluate the performance index of ternary mixtures, containing Portland cement, rice husk silica and colloidal nanosilica. Mortars were produced according to the method described in NBR 5752 - Pozzolanic materials - Determination of performance index with Portland cement at 28 days (ABNT, 2014). The silica of rice husk, used individually and together with the colloidal nanosilica, exerted important influences in the compressive strength of the

mortars, demonstrating great potential for the use of these materials in concrete, in general.

KEYWORDS: Nanosílica, pozzolan, Portland cement, rice husk silica.

1 | INTRODUÇÃO

Devido aos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado de resíduos e, tentando reaproveitá-los como fonte alternativa, diversos estudos vêm sendo realizados sobre o uso da sílica de casca de arroz como adição mineral na produção de argamassas e concretos (TORKAMAN et al., 2014)

A sílica de casca de arroz (SCA) constitui-se em um dos resíduos agro-industriais de grande produção no mundo. Seu aproveitamento como material pozolânico na construção civil é de extrema importância, tanto econômica quanto ecologicamente, pois impede seu descarte em forma de aterro, que seria um fator gerador de problemas ambientais de poluição do solo, do ar e de rios e córregos. O elevado teor de sílica amorfa presente na sílica da casca do arroz, quando queimada com controle de temperatura, proporciona a este resíduo uma elevada reatividade, podendo ser utilizada como pozolana adicionada a concretos e argamassas.

Na SCA amorfa, com características pozolânicas, fatores como temperatura de queima, taxa de aquecimento e tempo de permanência em ambiente de queima são responsáveis pela reatividade química, uma vez que influenciam em sua forma estrutural (amorfa ou cristalina), na superfície específica das partículas e no teor de carbono remanescente (SILVA, 2009).

Algumas nanopartículas também têm sido utilizados na indústria do concreto ao longo das últimas décadas. De acordo com Sanchez e Sobolev (2010), nanotecnologia é a ciência que estuda os materiais em escala nanométrica, possuindo tamanho entre 1 e 100 nm, atingindo o nível de moléculas e átomos. Esses materiais apresentam comportamento específico devido aos efeitos que prevalecem quando as partículas assumem um tamanho muito reduzido.

As nanopartículas possuem uma grande área superficial quando comparadas com os materiais tradicionais. Essa característica, quando se fala de adições aplicadas em misturas de base cimentícia, é responsável pela alteração das propriedades dos materiais no estado fresco e endurecido, quando comparado com as adições minerais convencionais. Nesse sentido, a adição de nanopartículas em substituição parcial ao cimento tem adquirido atenção crescente nos últimos anos (SEFFF, 2009).

Os nanomateriais possuem um papel fundamental quando aplicados em materiais cimentícios, pois proporcionam alterações em sua microestrutura, produzindo materiais mais resistentes e duráveis. Dentre os nanomateriais aplicados em materiais cimentícios destacam-se os nanotubos de carbono, as nanopartículas de dióxido de titânio e a nanossílica. Gleize (2011) cita que a incorporação de nanopartículas na matriz de cimento pode melhorar a sua durabilidade e propriedades

mecânicas. A nanossílica, em particular, tem encontrado utilização neste campo pela sua grande área superficial, o que resulta em elevado grau de atividade pozolânica.

Alguns pesquisadores (Quercia, 2010; Sanchez e Sobolev, 2010; Senff, 2009; LUCAS, 2014; CERVANTES, 2015) reportam que ainda existem poucos trabalhos que estudam a incorporação de nanopartículas em amostras de concretos e argamassas com o objetivo de conseguir melhores propriedades físicas e mecânicas.

O Índice de desempenho com cimento Portland é um método que avalia o aumento da resistência à compressão de uma argamassa preparada com adição pozolânica em relação a uma argamassa de referência, preparada apenas com cimento Portland como aglomerante.

A NBR 5752 - Materiais pozolânicos - Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias (ABNT, 2014) é a mais recente norma que prescreve o método para determinação do Índice de desempenho com cimento Portland dos materiais pozolânicos. Esta norma, juntamente com a NBR 15894-2 (ABNT, 2010), e a NBR 13956-3 (ABNT, 2012), foram elaboradas a partir da revisão e substituição da NBR 5752 (ABNT, 1992), determinando modificações como fixação da relação água/cimento e a utilização de aditivo superplastificante para manter o índice de consistência das argamassas com adição pozolânica em relação à argamassa de referência.

As adições minerais podem ser associadas em diversas combinações e teores, criando-se misturas de cimento com dois tipos de adição, as quais são denominadas misturas ternárias. Contudo, esta pesquisa propõe a aplicação do método do índice de desempenho prescrito na NBR 5752 (ABNT, 2014) para avaliar a potencialidade da utilização da sílica de casca de arroz, incorporada individualmente e em conjunto com a nanossílica coloidal, em materiais cimentícios, de forma geral.

2 | PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi dividido em três etapas: (1) caracterização dos materiais; (2) moldagem e cura das argamassas com nanossílica e / ou sílica de casca de arroz; (3) determinação do Índice de desempenho.

2.1 Caracterização dos materiais

Nesta etapa foi realizada a caracterização dos materiais utilizados nesta pesquisa (cimento Portland CII F-32, sílica de casca de arroz e nanossílica coloidal). Foram realizados os seguintes ensaios de caracterização dos materiais:

- Análise química (Fluorescência de raios - X);
- Difração de raios X, na nanossílica e SCA;
- Granulometria a laser, na SCA;

- Resíduo na # 75 μm , no cimento Portland;
- Microscopia Eletrônica de Varredura.
- Microscopia Eletrônica de Transmissão, para a nanossílica;
- Tempo de início e fim de pega do cimento Portland;
- Resistência à compressão do cimento Portland aos 3, 7, 28 e dias;
- Área específica Blaine, do cimento Portland.

2.2 Moldagem e cura das argamassas

Nesta etapa foram confeccionadas, uma argamassa de referência, e argamassas contendo adição de sílica de casca de arroz, variando-se os teores em 20%, 25% e 30%, individualmente, e em conjunto com 1%, 2% e 3% de nanossílica coloidal.

O método de índice de desempenho determina a quantidade de materiais suficiente para efetuar a moldagem de 6 corpos-de-prova de argamassa com relação água/cimento de 0,48, que devem ser rompidos aos 7 ou 28 dias, para determinação do Índice de Desempenho.

Para que as misturas com adição de nanossílica coloidal e/ou sílica de casca de arroz apresentassem consistência semelhante à da mistura referência foi utilizado um aditivo superplastificante a base de policarboxilato, em teor suficiente para manter o índice de consistência em + ou – 10mm do obtido com a argamassa referência. O índice de consistência foi determinado de acordo com o método descrito pela NBR 13276 (ABNT, 2005).

A nanossílica coloidal e a sílica de casca de arroz foram adicionadas às misturas em substituição parcial à massa de cimento Portland. A nanossílica utilizada nesta pesquisa é comercializada em forma de suspensão aquosa estável (nanossílica coloidal), desta forma, a dosagem das argamassas foi realizada considerando a concentração de nanopartículas de SiO_2 desta suspensão (30%). Com o intuito de manter fixa a relação a/c em 0,48, a quantidade de água contida na suspensão foi subtraída da quantidade de água de cada mistura em relação à mistura referência. A Tabela 1 mostra a composição das argamassas confeccionadas nesta pesquisa.

Após a confecção das argamassas os corpos-de-prova foram moldados em fôrmas cilíndricas com dimensões 10 x 5cm e mantidos em câmara úmida durante 24 horas. Após este período os corpos-de-prova foram desmoldados e submetidos à cura por imersão em água saturada de cal até a data do rompimento.

ARGAMASSA	CIMENTO CII F-32	AREIA	ÁGUA	SCA	NS	SP
REFERÊNCIA	624,00	1872	300,00	-----	-----	-----
SCA20	499,20	1872	300,00	124,8	-----	0,22
SCA20-NS1	492,96	1872	285,55	124,8	20,8	0,53
SCA20-NS2	486,72	1872	271,10	124,8	41,6	0,82

SCA20-NS3	480,48	1872	256,66	124,8	62,4	1,30
SCA25	468,00	1872	300,00	156,0	-----	0,27
SCA25-NS1	461,76	1872	285,55	156,0	20,8	0,45
SCA25-NS2	455,52	1872	271,10	156,0	41,6	0,80
SCA25-NS3	449,28	1872	256,66	156,0	62,4	1,60
SCA30	436,80	1872	300,00	187,2	-----	0,31
SCA30-NS1	430,56	1872	285,55	187,2	20,8	0,72
SCA30-NS2	424,32	1872	271,10	187,2	41,6	1,20
SCA30-NS3	418,08	1872	256,66	187,2	62,4	1,94
NS – Nanossílica coloidal SCA – Sílica da casca de arroz SP - Superplastificante						

Tabela 1 – Composição das argamassas.

2.3 Determinação do índice de desempenho

Para cada traço de argamassa produzida nesta pesquisa foram realizadas 2 argamassadas, sendo que, para cada argamassada foram moldados 6 corpos-de-prova, totalizando 12 corpos-de-prova para cada traço. Dos 12 corpos-de-prova produzidos foram rompidos 4 em cada idade (1, 7 e 28 dias), desta forma, o Índice de Desempenho foi determinado aos 1, 7 e 28 dias.

Para a determinação da resistência à compressão das argamassas foi calculada a média aritmética dos resultados de resistência dos 4 corpos de prova e ignorados, até dois valores, a fim de cumprir o requisito de desvio relativo máximo de 6% para o cálculo de uma nova média, de acordo com a NBR 5752 (ABNT, 2014). Com a obtenção dos resultados de resistência à compressão foi determinado o índice de desempenho com cimento Portland aos 1, 7 e 28 dias pela Equação 1:

$$I_{cimento} = \frac{f_{cB}}{f_{cA}} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

3 | CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A Tabela 2 apresenta os resultados de caracterização do cimento CII F-32 utilizado nesta pesquisa.

Cimento Portland	Tempo de pega		Blaine	#200	Resistência à compressão		
	Início	Fim			1 dia	7 dias	28 dias
	h:min	h:min	cm ² /g	%	MPa	MPa	MPa
CII F-32	03:12	03:58	3.172	2,69	15,73	28,48	36,05

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de caracterização do cimento Portland

Observa-se na Tabela 2 que a resistência à compressão do cimento CII F-32

atende aos requisitos estabelecidos na NBR 11578 (ABNT, 1997), ou seja, deve apresentar resistência à compressão média maior ou igual a 10MPa aos 3 dias, neste caso apresentou resistência de 15,73MPa com 1 dia, maior ou igual a 20MPa aos 7 dias e, maior ou igual a 32 MPa aos 28 dias. O índice de finura por peneiramento apresentou um valor de 2,69%, estando em conformidade com a NBR 11578 (ABNT, 1997) que estabelece o valor máximo de 12%. O tempo de início de pega também está em conformidade com a norma citada, que estabelece o tempo mínimo de 1 hora. A área superficial Blaine apresentou um valor de 3.172 cm²/g.

A Figura 1 ilustra os difratogramas obtidos com a difração de raios-X (DRX) da nanossílica e da sílica de casca de arroz. O difratograma da sílica de casca de arroz indica a presença de estruturas cristalinas, correspondentes, possivelmente, a cristobalita. Embora se tenha evidenciado a presença de picos nos difratogramas de raios X da sílica de casca de arroz, observa-se que este apresenta um halo amorfo correspondente ao desvio da linha base entre os ângulos de 15 e 30 graus (2θ), indicando a amorficidade do material. O difratograma da nanossílica coloidal mostra que não foram identificados picos de materiais cristalinos, ou seja, apresenta-se completamente amorfa.

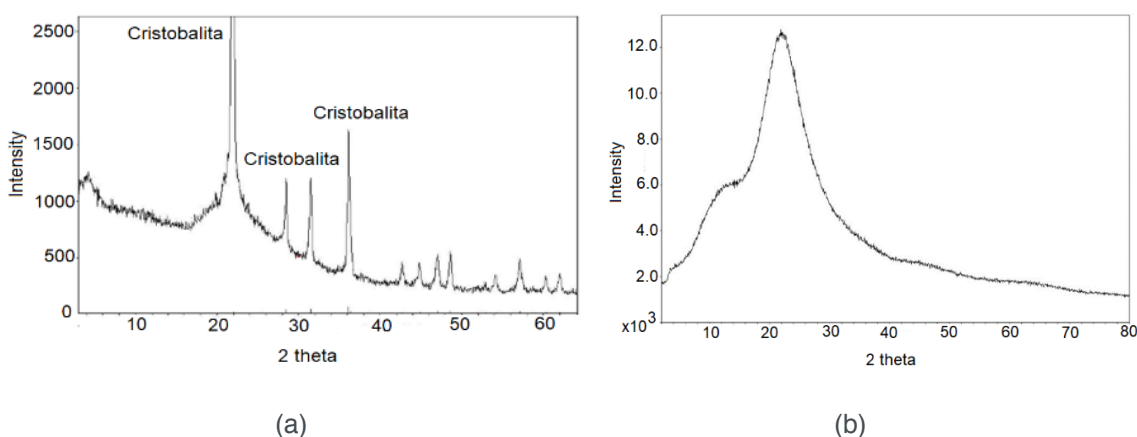


Figura 1 – Difração de raios X: a) sílica de casca de arroz; b) nanossílica coloidal

A Figura 2 apresenta micrografias obtidas por MEV da sílica de casca de arroz.

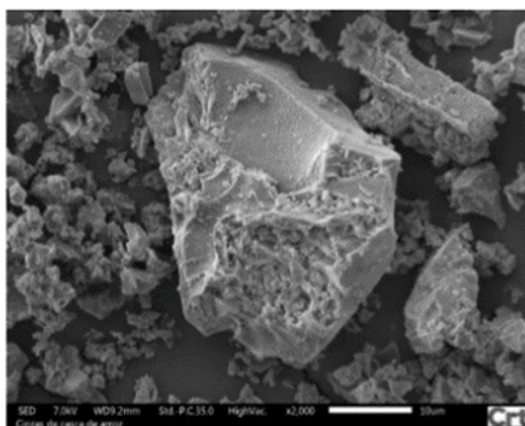


Figura 2 – Microscopia eletrônica de varredura da sílica de casca de arroz.

Analisando a Figura 2 observa-se que a sílica de casca de arroz é caracterizada por partículas de formatos variados e diversos tamanhos, apresentando poros intersticiais nas partículas. A microestrutura da SCA varia conforme o tipo de queima. A SCA produzida com queima controlada possui uma estrutura porosa e a produzida em forno comum possui uma estrutura mais compacta e granulada, podendo influenciar na reatividade.

A Figura 3 apresenta micrografias da nanossílica coloidal obtidas com a microscopia eletrônica de transmissão, sendo possível observar aglomerados de SiO_2 , com partículas apresentando formato esférico e com pouca variação de tamanhos. As nanopartículas apresentam uma grande tendência de aglomeração entre si. Isto está relacionado à energia de superfície das nanopartículas, a distância entre as partículas e sua configuração molecular.

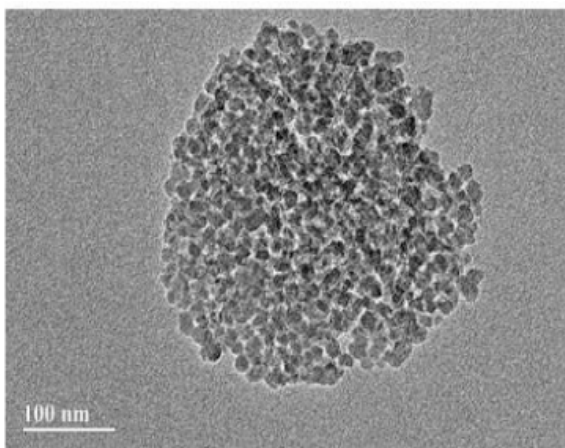


Figura 3 – Microscopia eletrônica de Transmissão da nanossílica coloidal.

A distribuição granulométrica da sílica de casca de arroz, obtida pelo ensaio de granulometria a laser, é apresentada na Figura 4. Ao analisar a distribuição granulométrica da sílica de casca de arroz verificou-se um diâmetro médio de 35,7 μm , $D_{10} = 3,01$ e $D_{90} = 63,35$.

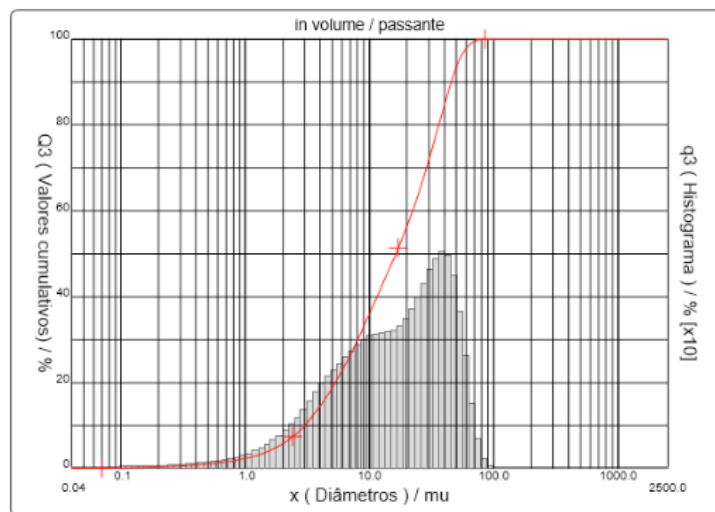


Figura 4 – Curva granulométrica obtida por granulometria a laser da sílica de casca de arroz.

A Tabela 3 mostra a composição da sílica de casca de arroz, da nanossílica e do cimento Portland, obtida por fluorescência de raios X. É possível observar que a sílica de casca de arroz apresentou um teor de SiO_2 de 93,11%. A nanossílica apresentou teor de SiO_2 de 89%. Essas diferenças na composição química exercem significativas influências na reatividade das adições pozolânicas.

Componentes químicos		SCA	Nanossílica	Cimento CII-F32
Perda ao fogo		3,13	7,55	5,03
Resíduo insolúvel		-----	-----	1,55
Trióxido de enxofre (SO_3)		-----	-----	2,7
Óxido de magnésio (MgO)		1,07	0,79	1,52
Dióxido de silício (SiO_2)		93,11	89,08	19,66
Óxido de ferro (Fe_2O_3)		0,05	-----	2,91
Óxido de alumínio (Al_2O_3)		-----	-----	4,44
Óxido de cálcio (CaO)		0,46	0,02	64,35
Óxido de cálcio livre (CaO)		-----	-----	0,79
Álcalis totais	1,81	1,81	1,81	0,08
	-----	-----	-----	0,59
	1,81	1,81	1,81	0,47
Álcalis solúveis em água	0,19	0,19	0,19	0,03
	-----	-----	-----	0,3
	0,19	0,19	0,19	0,23
Sulfato de cálcio (CaSO_4)		-----	-----	4,59
Umidade		-----	-----	-----
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$		93,16	89,08	27,01

Tabela 3 – Composição do cimento Portland, sílica de casca de arroz e nanossílica coloidal.

3.1 Índice de desempenho

A Adição de sílica de casca de arroz, individualmente e em conjunto com nanossílica coloidal exerceu influências significativas nas argamassas no estado fresco. O aditivo superplantificante foi adicionado às misturas com nanossílica coloidal para manter o índice de consistência em $\pm 10\text{mm}$ do obtido com a argamassa

referência (195mm). A Figura 5 mostra a quantidade de aditivo superplastificante adicionada às misturas, em porcentagem, em relação à massa de materiais cimentícios. É possível observar que, a medida que se aumentou a quantidade de nanossílica coloidal adicionada às misturas foi necessário aumentar a quantidade de aditivo superplastificante para manter o índice de consistência, confirmando o que diz a literatura. Hou et. al (2013), ao realizar estudo sobre os efeitos da nanossílica nas propriedades de materiais de base cimentícia observaram que a nanossílica exerce forte influência na trabalhabilidade das misturas, sendo que, quanto maior a proporção de nanossílica adicionada, menores são os valores obtidos no espalhamento das argamassas no ensaio da mesa de consistência.

A medida que se aumentou o teor de substituição de cimento Portland por sílica de casca de arroz também foi necessário aumentar a quantidade de superplastificante para manter o índice de consistência estabelecido e, à medida que se aumentou o teor de nanossílica nas misturas ternárias (cimento Portland + sílica de casca de arroz + nanossílica) também ocorreu um aumento do teor de superplastificante. A mistura que apresentou a maior demanda por aditivo superplastificante foi a SCA20-NS3.

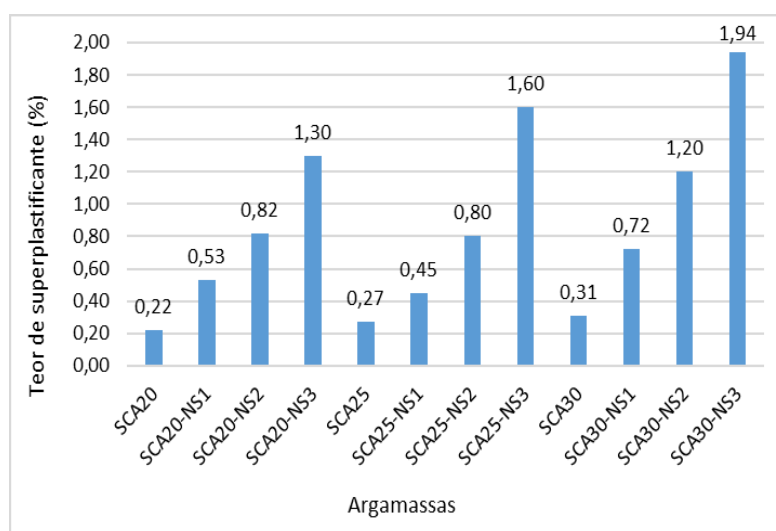


Figura 5 – Teor de aditivo superplastificante adicionado às misturas.

Os resultados de resistência à compressão e índice de desempenho aos 1, 7, e 28 dias das argamassas podem ser observados na Tabela 4. Observa-se que a resistência à compressão da mistura referência atende aos requisitos estabelecidos na NBR 11578 (ABNT, 1997), com resistência à compressão média maior ou igual a 10MPa aos 3 dias, maior ou igual a 20MPa aos 7 dias e, maior ou igual a 32 MPa aos 28 dias.

Argamassa	1 dia		7 dias		28 dias	
	R. Média (MPa)	Índice de Desempenho	R. Média (MPa)	Índice de Desempenho	R. Média (MPa)	Índice de Desempenho
REFERÊNCIA	13,75	100,0	27,45	100,0	33,09	100,0

SCA20	8,34	60,7	24,47	89,1	32,87	99,3
SCA20-NS1	10,51	76,4	25,7	93,6	34,89	105,4
SCA20-NS2	10,52	76,5	26,1	95,1	36,12	109,2
SCA20-NS3	11,76	85,5	28,45	103,6	38,8	117,3
SCA25	7,65	55,6	22,65	82,5	31,9	96,4
SCA25-NS1	7,82	56,9	24,34	88,7	31,9	96,4
SCA25-NS2	7,8	56,7	24,67	89,9	33,8	102,1
SCA25-NS3	7,89	57,4	27,1	98,7	35,02	105,8
SCA30	6,97	50,7	20,78	75,7	29,33	88,6
SCA30-NS1	6,71	48,8	21,31	77,6	30,01	90,7
SCA30-NS2	6,55	47,6	21,56	78,5	30,33	91,7
SCA30-NS3	6,83	49,7	23,22	84,6	31,83	96,2

Tabela 4 – Resultados de índice de desempenho e resistência à compressão aos 1, 7 e 28 dias.

A Figura 6 mostra o índice de desempenho das misturas com sílica e casca de arroz, utilizada individualmente ou em conjunto com a nanossílica coloidal, aos 1, 7 e 28 dias de hidratação. A Figura 6 mostra que, com 1 dia de hidratação as misturas com SCA, adicionada individualmente ou em conjunto com nanossílica coloidal apresentaram índice de desempenho menor que 100. Isto explica-se pelo fato da reação pozolânica depender da formação de hidróxido de cálcio, advindo da reação de hidratação do cimento e, com isto, nas primeiras idades é possível que não haja hidróxido de cálcio suficiente para o desenvolvimento da reação pozolânica.

Aos 7 dias a maioria das misturas estudadas com sílica de casca de arroz, adicionada individualmente ou em conjunto com nanossílica coloidal, apresentaram índice de desempenho menor que 100, com exceção da mistura SCA20-NS3, que apresentou índice de desempenho de 103,64, sendo este o maior resultado de índice de desempenho aos 7 dias, dentre as misturas estudadas. Observa-se também que, ao aumentar o teor de substituição de sílica de casca de arroz o índice de desempenho diminuiu e ao aumentar o teor de nanossílica coloidal o índice de desempenho aumentou aos 7 dias de hidratação.

Aos 28 dias também foi observada a diminuição dos resultados de índice de desempenho com o aumento do teor sílica de casca de arroz, e o aumento do índice de desempenho ao se aumentar o teor de nanossílica coloidal. As misturas ternárias com 20% de sílica de casca de arroz e nanossílica coloidal foram as que apresentaram os maiores resultados de índice de desempenho aos 28 dias, sendo que, a mistura com 20% de sílica de casca de arroz e 3% de nanossílica coloidal apresentou o maior resultado de índice de desempenho aos 28 dias ($I=117,23$), dentre as misturas estudadas.

O fato destas misturas, com elevados teores de substituição de cimento Portland por sílica de casca de arroz, apresentarem a redução do índice de desempenho, está relacionado com a disponibilidade de hidróxido de cálcio nas misturas, contudo, ressalta-se que a adição de nanossílica, formando misturas cimentícias ternárias,

apresenta grande potencialidade em mitigar a redução da resistência ocasionada pela utilização de elevados teores de sílica de casca de arroz, possibilitando a sua utilização em concretos e misturas cimentícias, de forma geral.

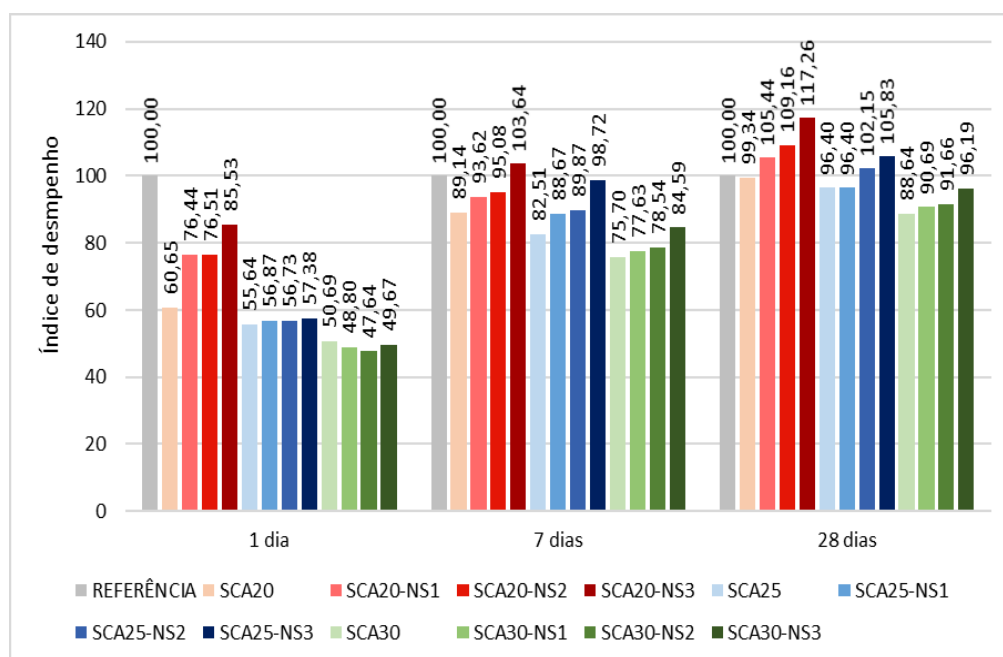


Figura 6 – Resultados de índice de desempenho aos 1, 7 e 28 dias.

4 | CONCLUSÕES

- Observou-se uma tendência geral de aumento da demanda por aditivo superplastificante com o aumento dos teores de sílica de casca de arroz e / ou nanossílica coloidal, sendo este efeito mais pronunciado nas misturas ternárias;
- Com 1 dia de hidratação as misturas com SCA, adicionada individualmente ou em conjunto com nanossílica coloidal, apresentaram índice de desempenho menor que 100;
- Aos 7 dias a maioria das misturas estudadas com sílica de casca de arroz, adicionada individualmente ou em conjunto com nanossílica coloidal, apresentaram índice de desempenho menor que 100, além disto, observou-se que, ao aumentar o teor de substituição de sílica de casca de arroz o índice de desempenho diminuiu e, ao aumentar o teor de nanossílica coloidal o índice de desempenho aumentou;
- Aos 28 dias também foi observada a diminuição dos resultados de índice de desempenho com o aumento do teor sílica de casca de arroz, e o aumento do índice de desempenho ao se aumentar o teor de nanossílica coloidal, sendo que, as misturas ternárias, com 20% de sílica de casca de arroz e nanossílica coloidal, apresentaram os maiores resultados de índice de desempenho;

- A adição de nanossílica coloidal, formando misturas ternárias, proporcionou a mitigação da redução da resistência à compressão, ocasionada pela utilização de elevados teores de sílica de casca de arroz nas misturas, demonstrando grande potencialidade para utilização em concretos e misturas cimentícias, de forma geral.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de materiais de construção da Universidade Estadual de Goiás, Furnas Centrais Elétricas S.A., ao Instituto de Geociências da UnB e ao Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, D. S.; RÊGO, J. H. S.; MORAIS, P. C.; LOPES, A. N. M.; ROJAS, M. F. **Investigation of C-S-H in ternary cement pastes containing nanosilica and highly-reactive supplementary cementitious materials (SCMs): Microstructure and strength.** CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, v. 198, p. 445-455, 2019.

ANDRADE, D. S.; RÊGO, J. H. S.; MORAIS, P. C.; ROJAS, M. F. **Chemical and mechanical characterization of ternary cement pastes containing metakaolin and nanosilica.** CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS, v. 159, p. 18-26, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5.739: **Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos.** Rio de Janeiro, 1980.

_____. NBR 7215: **Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 5752: **Materiais pozolânicos – Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias.** Rio de Janeiro.

CARMO, J. B. M.; PORTELLA, K. F. **Estudo comparativo do desempenho mecânico da sílica ativa e do metacaulim como adições químicas minerais em estruturas de concreto.** Curitiba, 2008.

CERVANTES, M. J. P. *et al.* **Performance of Chlorides Penetration and Corrosion Resistance of Mortars with Replacements of Rice Husk Ash and Nano-SiO₂.** International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE, 2015.

Dantas, M. H. O. **Avaliação dos efeitos da adição nanossílicas em pó e coloidal em pastas de cimento Portland.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia civil e ambiental, 2013.

LUCAS, S. *et al.* **Novos materiais de construção com tecnologias avançadas.** Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis. Guimarães, Portugal, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 2008.

MORAES, M. Q. **Contribuição aos estudos da influência da nanossílica nas propriedades mecânicas e na trabalhabilidade de concretos para produção em centrais e para fabricação de pré-moldados.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Goiás. Goiânia – GO, 2012.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini. 1997.

GLEIZE, P. J. P. **Nanotecnologia e materiais de construção**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. 1.ed. São Paulo: Ibracon, 2007.

_____. **Nanociência e Nanotecnologia dos Materiais Cimentícios**. In: ISAIA, G. C. (Ed.). *Concreto: ciência e tecnologia*. 1. ed. São Paulo: Ibracon, 2011.

HOU, P.; KAWASHIMA, S.; DAVID, J.; QUIAN, J.; SHAH, S. P. **Effects of colloidal nanossilica on rheological and mechanical properties of fly ash–cement mortar**. Elsevier. *Cement & Concrete Composites*, 2013.

MALLAMANN. P. F. **Concreto de pós reativos: adição de nanossilica**. Trabalho de diplomação. UFRGS. Porto Alegre – RS, 2013.

MUKHARJEE, B. B.; SUDHIRKUMAR, V. B. **Compressive Strength of Nano-Silica Incorporated Recycled Aggregate Concrete**. *International Journal of Advanced Research*, 2014.

NAJIGIVI, A.; KHALOO, A.; IRAJIZAD, A.; RASHID, S. A. **Investigating the effects of using different types of SiO₂ nanoparticles on the mechanical properties of binary blended concrete**. Elsevier. *Composites*, 2013.

QUERCIA, G.; BROUWERS, H. J. H. **Application of nano-silica (nS) in concrete mixtures**. In: FIB INTERNATIONAL PHD SYMPOSIUM IN CIVIL ENGINEERING, 8th, 2010, Kongens Lyngby. *Proceedings*. Lausanne: The International Federation for Structural Concrete, 2010.

SANCHEZ, F.; SOBOLEV, K. **Nanotechnology in concrete – A review**. Elsevier, *Construction and Building Materials*, 2010.

SEFFF, L. **EFEITO DA ADIÇÃO DE MICRO E NANOSSÍLICA NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO E PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO DE ARGAMASSAS E PASTAS DE CIMENTO**. Tese de Doutorado. UFSC, Florianópolis- SC, 2009.

Soares, A. L. M. **Efeito da adição de nanossilica nas propriedades mecânicas e microestruturais de argamassas para construção**. Dissertação (mestrado) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Joinville, 2014.

TORKAMAN, J., ASHORI, A., MOMTAZI, A.S (2014). **Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks**. *Construction and Building Materials*, Amsterdam, v. 50, p. 432-436, 2014.

ZHANG, M. H.; ISLAM, J.; PEETHAMPARAN, S. **Use of nano-silica to increase early strength and reduce setting time of concretes with high volumes of slag**. Elsevier, *Cement & Concrete Composites*, 2012.

LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO E IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE PESQUISAS CIENTÍFICAS NA ÁREA DAS CIÊNCIAS SOCIAIS SOBRE A CANA-DE-AÇÚCAR PARA O SEGMENTO SUCROENERGÉTICO

Manoel Gonçalves Filho

Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP)
- Programa de Pós-Graduação em Administração
(PPGA) - Piracicaba – SP

Clóvis Delboni

Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP)
- Programa de Pós-Graduação em Administração
(PPGA) - Piracicaba – SP

Reinaldo Gomes da Silva

Escola de Engenharia de Piracicaba (EEP) -
Piracicaba – SP

RESUMO: Este artigo desenvolveu um cenário analítico referente as pesquisas científicas realizadas nos últimos quatro anos sobre o tema cana-de-açúcar com o objetivo de levantar em quais áreas as inovações vêm sendo realizadas. Em relação à abordagem metodológica esta pesquisa é exploratória e fez uma revisão sistemática com análise bibliométrica utilizando recursos tecnológicos de busca como instrumento para executar a pesquisa. Nesse caso, a base de dados SCOPUS componente do Portal de Periódicos da Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os resultados encontrados mostram que o tema cana-de-açúcar é muito trabalho nas publicações nas áreas de biologia, agricultura, botânica, mas demonstra uma oportunidade referente à continuidade dos trabalhos de

pesquisas científicas e de desenvolvimento para a área de negócios. A contribuição está na identificação das lacunas de pesquisas ainda não realizadas com as maiores oportunidades de aplicação de estudos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: cana-de-açúcar, análise bibliométrica, inovação.

ABSTRACT: This article has developed an analytical scenario regarding the scientific research carried out over the last four years on the sugar cane theme with the objective of identifying in which areas innovations are being carried out. Regarding the methodological approach, this research is exploratory and systematically carried out a bibliometric analysis using technological resources of search as an instrument to execute the research. In this case, the SCOPUS database component of the Portal of Periodicals of Coordination and Improvement of Higher Level Personnel (CAPES). The results show that the sugarcane theme is a lot of work in publications in the areas of biology, agriculture, botany, but it demonstrates an opportunity regarding the continuity of scientific research and development work for the business area. The contribution is to identify the gaps in research that have not yet been carried out with the greatest opportunities for the application of future studies.

KEYWORDS: Sugar cane, bibliometric analysis,

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor da cana-de-açúcar. Sua produção se destaca, principalmente, no estado de São Paulo, com ênfase nas regiões de Piracicaba e Ribeirão Preto.

A cana-de-açúcar faz parte do setor sucroenergético, um setor representativo para a economia brasileira em termos estratégicos e também de grande importância histórica para a economia local. Sua história, desenvolvimento e importância chama a atenção, despertando questionamentos sobre o que vem sendo pesquisado recentemente na área.

No cenário globalizado atual, as empresas têm encontrado cada vez mais dificuldade para garantir a sua competitividade. Uma das estratégias utilizadas pelas organizações para manter sua posição no mercado tem sido em inovações.

Segundo Porter (1999), as inovações podem ser originadas pela oportunidade de atender novos mercados ou segmentos ainda negligenciados, gerando vantagem competitiva. Em busca de aproveitar essas oportunidades, as empresas investem em inovações que podem estar relacionadas com novas tecnologias, operações, estratégias de *marketing*, entre outras possíveis mudanças.

A realização desta pesquisa foi motivada pela necessidade de obter maior conhecimento do que têm sido publicado sobre a cana-de-açúcar e identificar novos segmentos e oportunidades de pesquisa.

Uma das principais atribuições dos artigos científicos está em difundir o conhecimento por meio da publicação dos resultados de pesquisa científica. Esta disseminação é de grande valia, pois possibilita que outros profissionais tenham a oportunidade de conhecer, avaliar e questionar problemas que eventualmente possam surgir sobre as questões estudadas e afins (NEVES, 2013).

Dentre as diversas metodologias que podem ser utilizadas, a selecionada para esta pesquisa foi a revisão sistemática com pesquisa bibliométrica. A realização de pesquisas bibliométricas que identifiquem a pouca exploração de trabalhos científicos se fazem necessárias para que se possam diagnosticar quais lacunas carecem de atenção e desenvolvimentos futuros. Portanto, a proposta deste trabalho é analisar as publicações sobre a cana-de-açúcar nos últimos quatro anos para melhor compreender o que se tem feito de pesquisas e analisar as áreas em que têm ocorrido inovações no setor, assim como identificar as oportunidades que ainda se tem para explorar o tema.

A pesquisa é bibliométrica quanto ao levantamento dos dados quantitativos do reconhecimento científico, da qualidade das publicações e dos veículos de divulgação. Os artigos selecionados para a base da pesquisa foram os publicados nas mais diversas revistas existentes na área de avaliação das Ciências Sociais dentro do

2 | INOVAÇÃO E A CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL

Hoje vivemos em um mundo que passa por um processo de profundas transformações, tais transformações exercem profundas mudanças nas organizações e também na sua competitividade (KOTLER *et.al.*, 2017). Segundo os autores, incluem a mudança no comportamento das organizações que antes buscavam a exclusividade no mercado para uma estrutura de poder mais multilateral de inclusão e parcerias. De acordo com os autores outra alteração de comportamento está relacionada ao fluxo da informação que passou de vertical para horizontal, na qual as empresas comercializam as ideias que foram fornecidas pelo mercado. Os autores complementam que essa afirmação está relacionada ao fato de que o aumento da competitividade do mercado fez as empresas detectarem que manter uma grande estrutura de pesquisa e desenvolvimento não era suficiente para acompanhar a velocidade das mudanças no mercado.

Porter (2004) cita três tipos de inovações: (i) inovação do produto; (ii) inovação em *marketing* e; (iii) inovação no processo. Todas com reflexos na estrutura da empresa e também no comportamento do mercado. De acordo com o autor a inovação no produto se caracteriza como uma fonte de inovações tecnológicas na mudança estrutural das indústrias. O autor relata que essas mudanças têm como objetivo promover o crescimento da indústria e estimular a diferenciação do produto, o que pode influenciar a experiência do cliente e impactar a demanda. O autor descreve que a inovação no *marketing* acontece por meio de alterações nos meios de publicidade, temas e canais de *marketing* que acabam influenciando a demanda de um produto, o seu grau de diferenciação dos concorrentes e os custos. Tais alterações acabam influenciando a estrutura da empresa para atender à necessidade dos compradores e acompanhar as alterações da concorrência.

Já a inovação no processo visa modificar métodos e processos de fabricação. A maior influência desse processo de inovação está na alteração das economias de escala, dos custos fixos e variáveis da organização, na influência do nível de integração vertical e a necessidade de capital investido (PORTER, 2004). Além das inovações citadas acima, o autor ainda menciona as inovações estratégicas com fonte de obtenção de vantagens competitivas e também de potencialização ao ingresso no processo de globalização. As inovações estratégicas propostas pelo autor incluem:

- Identificação dos segmentos de mercado já existentes pouco ou insatisfatoriamente explorados;
- Inovações que permitam custos reduzidos de adaptações para atender a mais nichos de mercado;

- Alterações de projetos que gerem economias de escala;
- Desintegração da produção visando atender restrições governamentais que exijam produção local a fim de aproveitar escalas globais de produção de componentes;
- Eliminação da percepção das restrições de recursos para atender o mercado.

Porter (1999) cita que as empresas atingem a vantagem competitiva por meio de iniciativas de inovação, ou seja, desenvolvendo novas maneiras de realizar as coisas, como novos processos de produção, novos produtos, novas estratégias de *marketing* ou treinamentos. Em suas palavras, “com poucas exceções, a inovação é o esforço do resultado incomum” (PORTER, 1999, p. 176).

Os efeitos das inovações e a avaliação de sua eficácia podem ser classificadas por diferentes abordagens que segundo Tabas e Beranova (2016) resumem em não financeiras e financeiras.

Independente da abordagem de análise selecionada pela organização que está inovando, o fato é que, como comprovado por Porter (1999), evoluir é a única maneira para manter a vantagem competitiva de uma organização. Estar em constante evolução e implantando processos de inovação exige grande esforço por parte das organizações. Neste momento é primordial o papel da informação. A informação que somente a empresa possui e seu concorrente não pode ser uma fonte de vantagem competitiva. Outro aspecto importante é que somente com informações seria possível perceber uma oportunidade de mercado inteiramente nova ou identificar áreas do mercado onde o atendimento é ainda negligenciado por outras empresas.

Os estudos de Porter (1999) e Carvalho e Avellar (2017) demonstram que a inovação também exerce influência na produtividade das organizações. Segundo os autores, as inovações geram um aumento de produtividade nas organizações que a implementaram por um determinado período de tempo. Porém, existe uma tendência das organizações, principalmente as empresas bem-sucedidas, pela previsibilidade e estabilidade.

O processo de mudança é atenuado pelo medo do grande potencial de perdas, suplantando alguns processos de inovação e levando muitas empresas e setores ao estado de estagnação (PORTER, 1999).

Mediante tais referências, fica evidente a importância da inovação para a manutenção da competitividade para uma empresa e até mesmo um determinado setor. Como o objetivo desta pesquisa está em analisar em quais áreas as inovações vêm sendo implantadas no setor da cana-de-açúcar, é importante conhecer sobre sua história e participação econômica.

2.1 A Cana de Açúcar no Brasil

A importância da cana-de-açúcar para o Brasil está interligada com a sua história, e as políticas de incentivo à inovação que impulsionaram o setor.

Segundo Pereira (2017), desde os tempos em que o país era uma colônia de Portugal, a cana-de-açúcar já era uma grande lavoura e mantinha alta representação econômica. Ao observar a história econômica do país, é possível identificar a grande representatividade da cana em diversos ciclos econômicos do Brasil, com destaque para o momento de maior crescimento econômico do país. O autor enfatiza dois períodos de grande destaque no crescimento e desenvolvimento do setor da cana de açúcar, ambos iniciados por programas governamentais lançados em 1975 e 2003.

Em 1975 foi lançado o Programa Nacional do Álcool (PROALCOOL), instituído pelo governo militar e que tinha como objetivo impulsionar a industrialização da agricultura. Com este programa, um grande número de usinas foi instalado no Estado de São Paulo e também a modernização do setor, que no momento estava atrelada à implantação de novas tecnologias para o aumento da produtividade (PEREIRA, 2017).

Gonçales Filho *et.al.* (2016), define usina como “uma empresa que produz açúcar, etanol hidratado e anidro carburante para veículos, fertilizante a partir da vinhaça, destilado alcoólico e produção de energia a partir do bagaço da cana-de-açúcar, entre outros derivados”.

As usinas foram instaladas em todo o território nacional incentivadas pelo programa governamental, mas muitas não resistiram e foram desativadas nas décadas de 1980 e 1990 (PEREIRA, 2017).

No ano de 2003, motivada pela possível escassez do petróleo e por cobranças ambientais, uma nova fase de expansão acontece no setor, principalmente no Estado de São Paulo, atraindo grandes investimentos estrangeiros para a reativação das usinas fechadas nas décadas anteriores (PEREIRA, 2017). Acompanhando o processo de expansão, cresceu a área plantada da cana-de-açúcar, resultado do investimento das transnacionais do agronegócio no país, atraídas pela produção do etanol e a liberalidade instituída no Programa Nacional de Produção e Uso de Biocombustíveis (PNPB).

Assim como a produção, o processo de transnacionalização da produção da cana-de-açúcar no Brasil também é maior no estado de São Paulo, seguido pelo triângulo mineiro, sul do Mato Grosso do Sul e o sudeste do estado da Bahia, áreas pertencentes à grupos transnacionais como Raízen (*joint venture* entre Cosan e *Royal Dutch Shell*), destinadas ao cultivo da cana-de-açúcar para a produção de etanol (PEREIRA, 2017). Segundo o autor, a presença da responsabilidade do capital estrangeiro pulou de 3% de participação na produção de açúcar e etanol em 2006 para 33% em 2014. Além da maior presença do capital estrangeiro, este crescimento causou também a redução dos territórios ocupados por outras *commodities* na região

central do estado de São Paulo como as produções de laranja, mandioca e pastagens. O estado de São Paulo, na safra de 2015/2016 foi responsável por cerca de metade de toda a produção de cana-de-açúcar do país, com 4.678.700 hectares plantados.

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Rodrigues et. al (2016) afirma que o país é responsável por mais 40% da produção mundial, destacando-se como região produtora o estado de São Paulo, com cerca de 60% de todo o montante nacional.

Alguns fatores contribuíram para incentivar o crescimento do cultivo desta *commoditie* na região. Aquino *et.al.* (2017) destaca as novas variedades de cana-de-açúcar geneticamente desenvolvidas para evitar e controlar a erosão, melhorar a matéria orgânica final além da estrutura solo, a evaporação e outros fatores ambientais. No tocante a produtividade, o autor destaca outras funcionalidades para a planta, garantindo maior aproveitamento, rentabilidade e evitando desperdícios. A palha é utilizada para a geração de energia excedente, e seu uso com o bagaço na industrialização do álcool triplica o seu rendimento. Uma parte da palha também é deixada no solo para garantir a sustentabilidade do sistema e manter o solo fértil, evitando erosões.

Já Rodrigues *et.al.* (2016) enfatizam como alguns dos fatores que incentivaram o aumento da produção no estado de São Paulo a proximidade com vários institutos de pesquisa, a proximidade do mercado consumidor, melhorias nas técnicas de produção, a infra-estrutura de transportes com maior influência da disponibilidade e qualidade das terras disponíveis para a produção.

3 | ABORDAGEM METODOLÓGICA

Para a realização da pesquisa sobre inovação no setor da cana-de-açúcar, a metodologia selecionada foi a revisão sistemática com análise bibliométrica da literatura.

Assim, a abordagem metodológica dessa pesquisa é caracterizada como exploratória, documental e descritiva (GIL, 2008), em que se utiliza o método dedutivo (CRUZ e RIBEIRO, 2004). Quanto ao delineamento, recorre-se à pesquisa bibliográfica e ao levantamento por amostragem, utilizando recursos tecnológicos – software VOSVIEWER – de busca como instrumento para executar a pesquisa (GIL, 2008). Neste caso, foi utilizado a base de dados SCOPUS componente do Portal de Periódicos da Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Uma revisão sistemática é um tipo de revisão que utiliza como fonte de dados a literatura sobre determinado tema. Essa metodologia é utilizada para identificar, por meio de critérios preestabelecidos e reproduzíveis, todos os artigos relevantes sobre um tema de estudo, dos quais são sintetizados os dados e interpretados os resultados (STRUECKER e HOFFMAN, 2017 e MANCINI e SAMPAIO, 2007).

Essa metodologia está adequada ao objetivo da pesquisa uma vez que, segundo Mancini e Sampaio (2007), esse tipo de estudo serve para nortear o desenvolvimento de projetos, indicando novos rumos para futuras investigações. Os autores atentam que, para a elaboração de uma revisão sistemática, existem alguns passos a serem seguidos. Primeiramente, é necessário ter uma pergunta de pesquisa e um objetivo bem estabelecido. O segundo passo é a definição das fontes de pesquisa. Qual a base de dados que será utilizada na pesquisa, as palavras-chave e estratégias de busca que serão utilizadas. O terceiro passo é a utilização de critérios para inclusão ou exclusão do material adquiridos na busca inicial. O quarto passo trata de analisar e validar o método utilizado pela qualidade dos resultados obtidos. O quinto e último passo é a apresentação dos resultados obtidos com os artigos analisados.

Feng *et.al.* (2017) e Marti *et.al.* (2016) argumentam sobre a análise bibliométrica, na qual, após a revisão da literatura de forma sistemática, é possível aplicar métodos estatísticos para determinar tendências em uma disciplina ou mudanças, tanto quantitativas quanto qualitativas, em um tópico da pesquisa científica.

A bibliometria surgiu no início do século XX como uma ferramenta para acompanhar o crescimento e desenvolvimento das diferentes áreas da ciência. Esse surgimento deu-se em função da percepção, por parte dos cientistas, em relação à quantidade de conhecimento científico gerado na época, que ultrapassava a capacidade de leitura (NEVES, 2013).

Corroborando com a metodologia mencionada por Mancini e Sampaio (2007), Morant e Soriano (2016) também definem uma metodologia para a realização da análise bibliométrica definida em seis passos: o primeiro é definir o campo a ser estudado; em segundo é importante selecionar a base de dados que será utilizada; o terceiro passo é o ajuste dos critérios que serão utilizados na pesquisa; no quarto são compiladas as categorias que serão utilizadas na análise das informações obtidas; o quinto passo trata-se do material coletado é codificado, e no sexto e último passo as informações são analisadas.

A realização desta pesquisa foi baseada em cinco etapas que incluem todas as etapas mencionadas tanto por Mancini e Sampaio (2007) quanto por Morant e Soriano (2016).

Para o levantamento e análise realizados neste estudo foram feitas as seguintes etapas: i) Busca termo e seleção dos periódicos; ii) Leitura dos títulos, resumos, palavras chaves dos artigos retornados; iii) Leitura da metodologia e dos resultados dos artigos retornados; iv) Tabulação e avaliação dos dados encontrados e, v) Sugestões de aplicação de futuros trabalhos voltados a cana-de-açúcar com pouca exploração científica.

Os periódicos consultados dentro da base da SCOPUS possuem seus artigos disponíveis para consulta online, tendo sido utilizados recursos tecnológicos de busca (VOSVIEWER), facilitando assim, o levantamento dos dados. Essa base de dados foi selecionada por apresentar mais de 5.000 editoras; 69.000.000 de documentos;

1.400.000.000 bilhões de referências citadas desde 1970; 70.000 dos principais perfis institucionais; 12.000.000 de autores.

Dessa forma, a primeira etapa consistiu na pesquisa das palavras-chave “*sugar cane*” nos periódicos internacionais selecionados, considerando os quatro últimos anos. Essa pesquisa foi realizada com foco nas revistas internacionais (*Journal*) que estavam disponíveis no Portal da CAPES, mais especificamente na base de dados da SCOPUS.

Em relação à etapa dois, foram selecionados os tópicos para aproximar os conteúdos dos artigos ao tema a ser desenvolvido. Na etapa três, foi feita uma tabulação com o objetivo de visualizar os idiomas em que os artigos internacionais foram escritos. Na etapa quatro, foi feita uma tabulação com o objetivo de conhecer as coleções que estavam participando na produção dos artigos. Na etapa cinco, o recurso utilizado e o foco dado ao tipo de documento aplicado. Na etapa seis, a seleção dos artigos pela data de publicação. E, finalmente, na etapa sete, foi identificado a lacuna de pesquisa.

Ao final dessas etapas de triagem e da leitura dos artigos, seguiu-se para a última fase: a tabulação e avaliação de suas características, os resultados encontrados estão apresentados e discutidos a seguir.

4 | RESULTADO E DISCUSSÃO

Esta pesquisa partiu de dados gerados no processo de consulta ao Portal de Periódicos da CAPES, na base da SCOPUS, e o primeiro dado a ser computado foi o número total de artigos internacionais disponíveis. Encontrou-se por meio da palavra chave *sugar cane* 14.464 documentos disponíveis, e a partir desse dado os filtros foram aplicados, assim, essa foi a base inicial trabalhada.

O posicionamento temporal considerou os últimos quatro anos nos quais ocorreram publicações sob o tema *sugarcane*, leia-se a partir do ano de 2014, mais precisamente de 2014 até 2018. Esse dado contribui para a seleção dos artigos, pois a base inicial foi reduzida para 3.604 obtendo, dessa forma, documentos recentes publicados.

Em continuidade à seleção, foram adicionados os tópicos (refinamento da palavra chave) para aproximar os conteúdos dos artigos ao tema a ser desenvolvido conforme se apresenta na Figura 1.

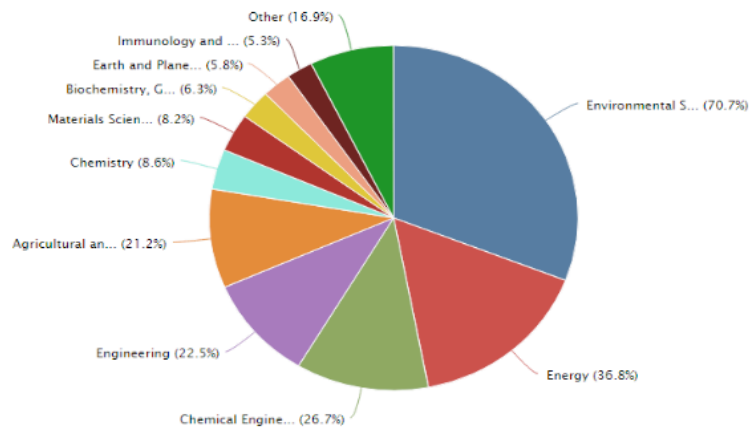


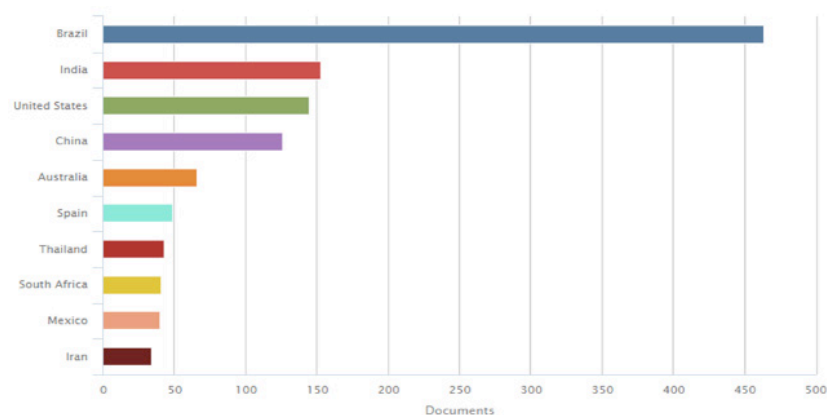
Figura 1 – Quantidade de tópicos selecionados para a área em estudo
 Fonte: Portal da CAPES (2014)

A partir dos 3.604 documentos com o tópico *sugar cane* encontrados nos últimos quatro anos, reduziu-se para 2.222 por escolher a amostra não probabilística e intencional por conveniência as áreas *Environmental*, *Engineering* e *Energy*, que aproximam a linha de pesquisa. Pode-se notar que a participação mais significativa foi o tópico *Environmental* com 70,7% e um total de 2.222 documentos, seguido pelo tópico *Energy* com 36,8% e *Engineering* com 22,5%.

O tipo preponderante de documento foi em unanimidade trabalhada com o formato de artigos, excluíram-se das análises finais todos os outros tipos, tais como: resenhas, recursos textuais, atas de congressos e artigos de jornal. Dessa forma, a base mais uma vez foi reduzida e passou-se para 1.304 artigos.

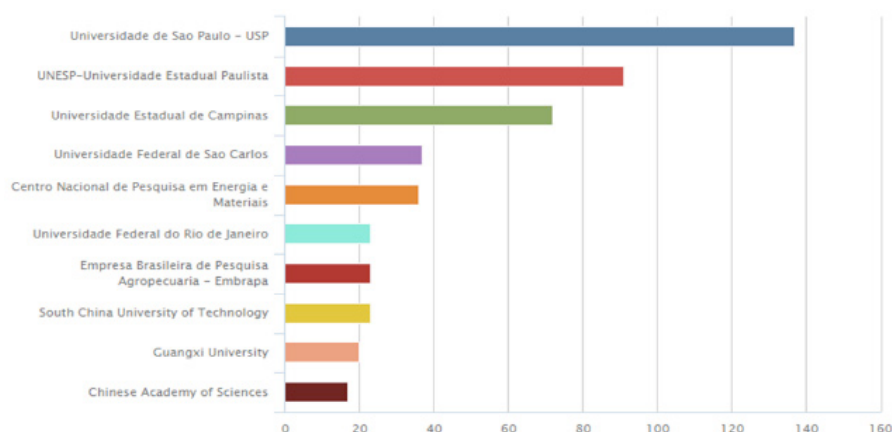
Também foi feita uma tabulação com o objetivo de visualizar os idiomas em que os artigos nacionais e internacionais foram escritos. Observa-se que a quantidade de publicações em inglês é bem maior do que as publicações em outros idiomas, especialmente o português, sendo: 1.226 artigos em inglês, 33 em português e sete em espanhol. Assim, o filtro referente ao idioma foi aplicado e a base total de artigos trabalhados passou para 1.256.

O Gráfico 1 apresenta os países cujas pesquisas foram desenvolvidas e que originaram esses 1.256 artigos.



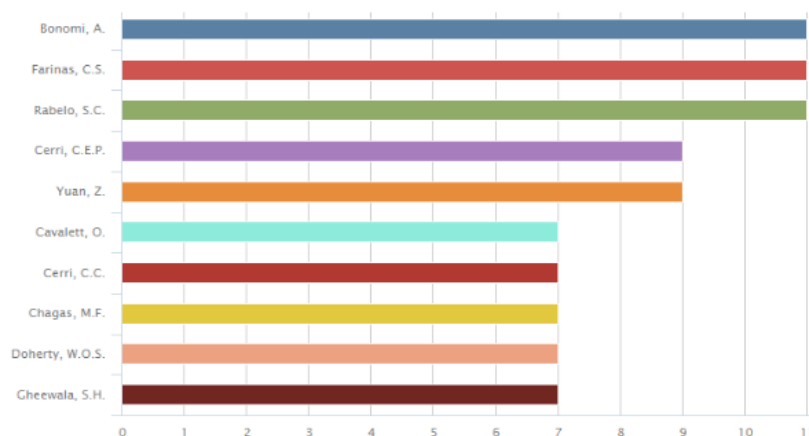
Nota-se que *sugar cane* é um tema predominantemente brasileiro com mais de 450 trabalhos publicados. Seguido pela Índia que também processa a cana-de-açúcar para a produção de açúcar e etanol nas usinas locais. Os Estados Unidos sinalizam interesse de pesquisa pela matéria prima (cana-de-açúcar), haja visto possuir aproximadamente 150 trabalhos na área.

Posteriormente, apresentado pelo Gráfico 2, foi feita uma tabulação com o objetivo de conhecer as afiliações, ou seja, as instituições que promoveram as pesquisas e as produções dos 1.256 artigos.

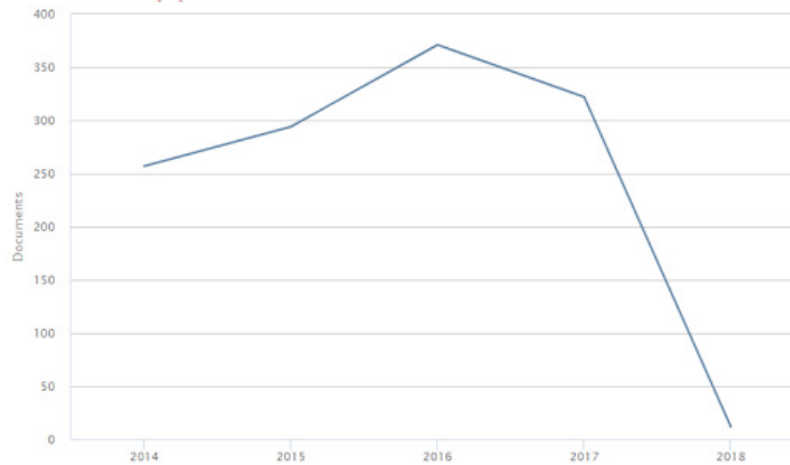


A Universidade de São Paulo (USP) com 137 publicações, e a Universidade Estadual Paulista (UNESP) com 91 publicações lideram as pesquisas na área sob o tema cana-de-açúcar. Seguidos pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR), juntas com 109 publicações.

Os autores mais citados estão apresentados pelo Gráfico 3. Destaca-se os trabalhos de Bonomi, Farinas e Rabelo, totalizando 33 citações. Cerri e Yan totalizaram 18 citações. Seguidos por Yuan e Cavallet com 16 citações.

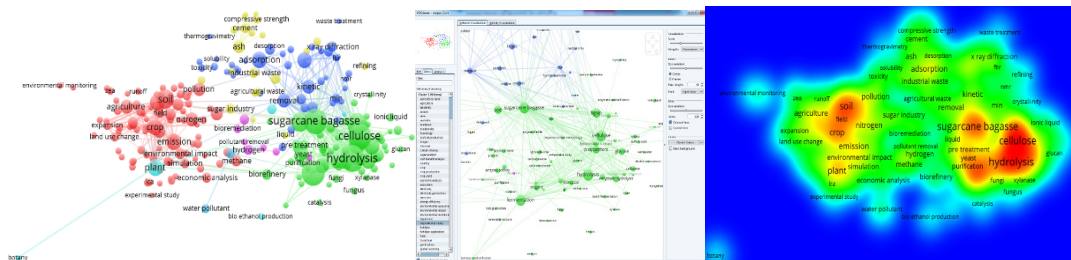


Nessa etapa já é possível verificar os anos de publicação dos artigos filtrados conforme objetivo proposto. O Gráfico 4 apresenta esse resultado.



O resultado temporal a partir dos filtros aplicados apresentou 12 trabalhos sob o tema cana-de-açúcar em 2018, 322 trabalhos no ano de 2017, 371 em 2016, 294 em 2015 e 257 em 2014. Nota-se que houve crescimento de 2014 a 2015 e 2016 atingindo um número máximo de 371 publicações em 2016. De 2015 a 2016 houve um crescimento de 77 publicações, e um decréscimo de 49 trabalhos de 2016 para 2017.

Nessa etapa e a partir desses filtros foram exportados 1.256 documentos para o *software* VOSVIEWER e considerou-se o *abstract* e as *keywords* na análise. Assim, dos 1256 trabalhos, apareceram 419 termos e em 30% deles a palavra-chave *sugar cane* (cana-de-açúcar) se repetiu 251 vezes, e gerou-se o mapa conforme apresentado na Figura 2.



Assim, se chegou a 1.256 artigos (base trabalhada) e, na sequência, buscou-se encontrar as oportunidades de pesquisa, ou seja, as lacunas na literatura no contexto desses artigos selecionados na base SCOPUS trabalhada dentro do portal de periódicos da CAPES.

Percebeu-se a ausência de uma correlação com temas da área das Ciências Sociais como Administração, Cadeia de Suprimentos, Logística, Estratégia, Produção mais Limpa, Lean Manufacturing, entre outros. Em outras palavras: *sugar cane* (cana-de-açúcar) tem sido pesquisado em especial pelas áreas de biologia e botânica, com ênfase referente ao solo e a agricultura, deixando espaço para as áreas de business.

Portanto, os artigos disponíveis pouco abordam a área das Ciências Sociais e tampouco a própria indústria do setor sucroenergético que utiliza, principalmente,

dessa matéria prima (cana-de-açúcar).

Verifica-se que há uma oportunidade futura a ser explorada de maneira a contribuir com o conhecimento dentro do segmento sucroenergético com a maior necessidade de produção científica.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram levantadas informações e traçou-se um panorama analítico da produção científica sobre cana-de-açúcar - *sugar cane* no conjunto de periódicos pesquisados pelo Portal CAPES.

Observou-se que os tópicos mais citados nos artigos analisados são o Meio ambiente, a Energia e a Engenharia. O tipo de documento mais utilizado é em formato de artigos e quase a sua totalidade está no idioma inglês.

O país com maior número de publicações sobre cana-de-açúcar - *sugar cane* é o Brasil, com mais de 450 trabalhos. Número superior à soma dos três países seguintes com mais publicações: Índia, Estados Unidos e China. O Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar, responsável por mais de 40% do total (RODRIGUES, et.al., 2016) sendo que comercializa mais da metade do açúcar produzido no mundo.

O estado de São Paulo é o maior produtor de cana de açúcar, com mais de 51% da área plantada. Provavelmente isso justifique que as instituições que mais promoveram pesquisas e publicações foram a Universidade de São Paulo (USP), a Universidade Estadual Paulista (UNESP), a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e a Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Entre os autores mais citados, destacam-se os trabalhos de Bonomi, A., Farinas, C.S. e Rabelo, S.C.

A contribuição desta pesquisa está no apontamento das oportunidades referente à continuidade dos trabalhos de pesquisas científicas e de desenvolvimento para a área de negócios - *business*, mais precisamente para a área das ciências sociais, em detrimento a outras áreas como biologia, botânica, laboratórios, química, agricultura, entre outras. Existe uma ausência de trabalhos com temas como Administração, Cadeia de Suprimentos, Logística, e também para o próprio processo produtivo e os processos de negócios-chave da usina sucroenergética. Essa é uma lacuna real e carece de desenvolvimento de pesquisas científicas. Nesse contexto, há uma oportunidade futura a ser explorada de maneira a contribuir com o conhecimento dentro do segmento sucroenergético e para a usina sucroenergética com a maior necessidade de produção científica.

Portanto, como pesquisa futura buscar-se-á aumentar o conjunto de bases de dados a serem pesquisadas pelo Portal CAPES, no sentido de obter com maior clareza os aspectos de lacuna de conhecimento e oportunidades de contribuição envolvendo a área das ciências sociais e o segmento sucroenergético.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, G. S. de *et.al.* 2017), Development and production of sugarcane under different levels straw after four years of cultivation. **Ciências Agrárias**, 38, n. 5, p. 2957-2966, set./out. 2017.
- CAPES; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, disponível em <http://qualis.capes.gov.br/webqualis/principal.seam> - acesso em 15/04/2014.
- CARVALHO, L.; AVELLAR, A.P.M. Innovation and productivity: empirical evidence for Brazilian industrial enterprises. **Revista de Administração**, 52, p.134-147, 2017.
- CRUZ, C.; RIBEIRO, U. **Metodologia Científica: Teoria e prática**. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2004.
- FENG, Y.; ZHU, Q.; LAI, KH. Corporate Social Responsibility for Supply Chain Management: A literature review and bibliometric analysis. **Journal of cleaner production**, 158, p.296-307, 2017.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2008.
- GONÇALES FILHO, M; CAMPOS, F.C.; ASSUMPÇÃO, M.R. Revisão sistemática da literatura com análise bibliométrica sobre estratégia e Manufatura Enxuta em segmentos da indústria. **Gestão e Produção**, 2016.
- KOTLER, P, KARTAJAYA, H, SETIAWAN, I. **Marketing 4.0: do tradicional ao digital**. Rio de Janeiro: Sextante, 2017.
- MANCINI, MC; SAMPAIO, RF. Estudos de Revisão Sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v.11, n.1, p.83-89, jan/fev 2007.
- MARTI, AR; SORIANO, DR; MARQUÉS, DP. A bibliometric analysis of social entrepreneurship. **Journal of Business Research**, 69, p. 1775 – 1779, 2016.
- MORANT, GA; SORIANO, DR. A bibliometric analysis of international impact of business incubators. **Journal of Business research**, 69, p. 1775 – 1779, 2016.
- NEVES, M. S. N. et al., Estudo bibliométrico da metodologia ativa “PeerInstruction” de 2003 a 2013 – VIII Workshop de pós-graduação e pesquisa do Centro Paula Souza – São Paulo, 2013.
- PEREIRA, LI. A Territorialização do Agronegócio no Brasil a partir do processo de estrangeirização da terra: o estudo de caso da cana-de-açúcar. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, 25, ano 14, Mai.2017.
- PORTER, ME. **Competição: estratégias competitivas essenciais**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.
- PORTER, ME. **Estratégia Competitiva: técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- RODRIGUES, M.A. *et.al.* **Eficiência Técnica do Setor Canavieiro do Estado de São Paulo**. VIII Congresso de APDEA e o II Encontro Lusófono em Economia, Sociologia, Ambiente e Desenvolvimento Rural, Coimbra, set. 2016.
- TABAS, J.; BERANOVÁ, M. Innovations Life Cycle. *Procedia*. **Social and Behavioral Sciences**, 220, p. 513-521, 2016.
- STRUECKER, D.R.; HOFFMAN, M.H. Participação social nos serviços públicos: caracterização do estado da arte por meio da bibliometria e da revisão sistemática. **REGE – Revista de Gestão**, 24, p. 371 – 380, 2017.

MELHORIA NO PROCESSO DE MONTAGEM ATRAVÉS DA FERRAMENTA POKA YOKE: UM ESTUDO DE CASO NO MCDONALD'S

Jéssika Alvares Coppi Arruda Gayer

Centro Universitário Internacional – Uninter.
Escola Politécnica. Curitiba - Paraná

Dayse Mendes

Centro Universitário Internacional – Uninter.
Escola Politécnica. Curitiba – Paraná

Douglas Soares Agostinho

Centro Universitário Internacional – Uninter.
Escola Politécnica. Curitiba – Paraná

Felipe Martins Machado

Centro Universitário Internacional – Uninter.
Escola Politécnica. Curitiba - Paraná

Jennifer Evangelista Cavalcante

Centro Universitário Internacional – Uninter.
Escola Politécnica. Curitiba - Paraná

Kellen Coelho dos Santos

Centro Universitário Internacional – Uninter.
Escola Politécnica. Curitiba – Paraná

Marcos Augusto Mendes Marques

Universidade Federal do Paraná. Setor de
Tecnologia. Curitiba – Paraná

Marcos Henrique Moraes

Centro Universitário Internacional – Uninter.
Escola Politécnica. Curitiba - Paraná

Renatha Querubina de Anevam

Centro Universitário Internacional – Uninter.
Escola Politécnica. Curitiba – Paraná

Rodrigo Ramiro Prior

Centro Universitário Internacional – Uninter.
Escola Politécnica. Curitiba – Paraná

RESUMO: O uso de dispositivos à prova de erros tem se tornado cada vez mais presente no mercado de trabalho. Este documento visa apresentar os meios de se produzir de uma maneira mais limpa, qualificando o modelo produtivo através da redução do desperdício de alimentos em uma rede *fast food* do Mc Donald's. O processo será melhorado mediante a implementação de um dispositivo Poka yoke, que auxilia os funcionários a não cometerem erros simples no momento da separação de material para montagem de um lanche. O projeto foi elaborado com base em uma visita técnica realizada ao estabelecimento em questão, fazendo-se uso de algumas fontes de evidências como: observação direta ao setor de montagem dos lanches; diálogo com o gerente e a supervisora do recinto e análise de artigos e livros que abordavam o tema.

PALAVRAS-CHAVE: Poka yoke, Mc Donalds, Desperdícios.

IMPROVEMENT IN THE ASSEMBLY PROCESS THROUGH THE POKA YOKE TOOL: A CASE STUDY IN MCDONALD'S

ABSTRACT: The use of error-proof devices has become increasingly present in the labor market. This paper aims to present the means of producing a cleaner way by qualifying the production model by reducing food waste in a

Mc Donald's fast food chain. The process will be improved by implementing a Poka yoke device, which assists employees to not make simple mistakes when separating material for assembling a snack. The project was elaborated based on a technical visit to the establishment in question, making use of some sources of evidence such as: direct observation to the sector of assembly of snacks; dialogue with the manager and supervisor of the site and analysis of articles and books that addressed the theme.

KEYWORDS: Poka yoke, Mc Donalds, Waste.

1 | INTRODUÇÃO

O McDonalds, segundo o site oficial da marca, é líder no ramo de serviços de *fast food*. Além disso, a rede se destaca pela qualidade dos produtos e no atendimento. A rede está presente em 119 países, nos quais possuem mais de 36 mil restaurantes e empregam mais de 2 milhões de colaboradores, tudo isso para atender mais de 70 milhões de clientes (MC DONALD'S, 2018)

A Arcos Dourados é a maior franqueadora da marca McDonald's em toda a América Latina, sua operação teve início em 2007. A primeira loja no Brasil foi inaugurada em 1979, em Copacabana, no Rio de Janeiro (MC DONALD'S, 2018).

O trabalho foi realizado em uma das lojas presentes na cidade de Curitiba, estado do Paraná, especificamente no Shopping Curitiba. A escolha da loja foi definida por meio de um sorteio, realizado em sala de aula. O restaurante possui como diferencial o atendimento via totem, que tem por objetivo agilizar o atendimento, além de diminuir as filas e dar maior autonomia ao cliente na customização do seu pedido.

Durante a visita, foram identificados pontos positivos e negativos no processo produtivo. Com o auxílio das matérias estudadas em sala de aula foi desenvolvida uma proposta para a solução das falhas constatadas. O objetivo do trabalho foi identificar uma oportunidade de melhoria, conforme o estudo concomitante ao estudado na sala de aula.

Para isso, houve a oportunidade de verificar como é o trabalho dos colaboradores do *fast food*, fazendo uma análise de tempos e métodos das montagens dos lanches e investigando o funcionamento da cozinha do estabelecimento. Na cozinha foi detectado que havia um desperdício de alimentos, as provisões em questão têm de 10 a 15 minutos no supermercado de montagem, onde depois de assados, fritos ou grelhados ficam aguardando para serem montados e servidos aos clientes, sendo que se não consumidos no tempo hábil, os alimentos serão descartados.

O artigo está dividido em 5 seções, sendo: a primeira com a introdução, a segunda com um apontamento sobre os temas relevantes relacionados com o observado no restaurante, a terceira com a metodologia, a quarta seção traz os resultados e discussões e a quinta, última seção, traz as considerações finais sobre o trabalho.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

Nesta seção, será apresentado um apontamento sobre os temas Planejamento, Programação e Controle da Produção, Projeto de Fabrica e Arranjo Físico, Tempos e Métodos, Sistemas de Avaliação da Qualidade e Processos e Produção de Serviços.

2.1 Planejamento, Programação e Controle da Produção

Ao pesquisar a definição de processos tem-se que é qualquer conjunto de atividades a partir da matéria prima, transformando-a para agregar valor ao produto ou serviço (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004, p.3)

Notou-se que o processo do McDonald's se encaixa no processo em linha, já que está definido entre processo por lote e o contínuo, onde os volumes são elevados e os produtos e serviços são padronizados. Como existe um grande fluxo de linha necessitando de estoques intermediários, entre as operações, o processo é realizado rapidamente com pequena variação no produto ou serviço (RITZMAN e KRAJEWSKI, 2004, p.33)

Para que o processo possa fluir, a projeção de demanda deve ser a mais precisa possível. Então, é necessário prover informações para elaborar um plano mestre de produção, otimizando os recursos como máquinas e pessoas, de maneira apropriada, para fazer o abastecimento de matérias na quantidade certa, deste modo o processo industrial seja devidamente planejado e programado (MARTINS; LAUGENIO, 2012, p. 97-98).

Por conseguinte, deve-se compreender que:

- No planejamento descreve-se as atividades necessárias para atingir um objetivo;
- A predição é um processo para definição de um evento futuro baseado somente em dados subjetivos e sem uma metodologia definida de trabalho.
- A projeção é um processo de determinação com base em históricos, utilizando estatística e cálculos matemáticos ou com base em uma metodologia previamente traçada.
- A Previsão é simplesmente prever o futuro sem o método de trabalho definido. (MARTINS; LAUGENIO, 2012, p. 98)

Há diversas formas de realizar a previsão demanda, no caso do restaurante estudado a previsão que mais se encaixa é a sazonal. A demanda sazonal consiste em eventos que impactam diretamente no aumento ou queda das vendas, que ocorre em período pré-determinados e se repete ao longo do tempo (BEZERRA, 2011, p. 24).

2.2 Projeto de Fabrica e Arranjo Físico

O arranjo físico ou *layout* de um processo de operação é, basicamente, posicionar os recursos de transformação entre si. Desta forma, o *layout* determina o padrão e a natureza de como os recursos transformados devem se deslocar entre a operação ou processo. Um arranjo físico mal definido pode acarretar problemas, entre eles: longos tempos de processo, fluxos longos e confusos, filas de clientes, alto custo de produção e uma resposta ineficaz para clientes e funcionários. (SLACK et al., 2018 p.238).

Para determinação de um layout deve-se, primeiramente, analisar alguns pontos importantes, tais como: a quantidade que será produzida, número de máquinas a ser utilizadas e estoque. (MARTINS; LAUGENIO, 2012, p. 51).

O McDonald's utiliza o arranjo físico celular. Este tipo de arranjo físico consiste, basicamente, na entrada dos recursos a serem transformados na operação. Após uma pré-seleção, é encaminhado até uma célula na qual encontra todos os outros recursos de transformação para aquela operação, então passam pela transformação e, após os produtos serem processados seguem para outra célula. Este *layout* tem por objetivo colocar ordem nos fluxos complexos do arranjo físico funcional. (SLACK et al., 2018 p.244).

2.3 Tempos e Métodos

O estudo de tempos e métodos é uma ferramenta gerencial para analisar as operações e tem por objetivo melhorar os métodos de trabalhos, bem como estabelecer os tempos para a execução de uma tarefa (AGOSTINHO, 2015, p. 139).

Objetivando medir a eficiência individual, o estudo de tempo e métodos continua sendo muito utilizado, pois estabelece tempos e padrões para a produção (MARTINS; LAUGENIO, 2012, p. 40).

Durante a tomada do tempo de uma operação, o responsável deve atentar-se à performance do colaborador, tendo em vista que o trabalho realizado pelo ser humano sofre alterações e variações por conta de interferências na sua atividade, seja de caráter psicológico, falta de treinamento, etc (AGOSTINHO, 2015, p. 50).

2.5 Sistemas de Avaliação da Qualidade

As empresas inserem Sistemas de Gestão da Qualidade quando elas necessitam demonstrar sua capacidade de produzir produtos e serviços que atendam as especificações dos clientes, visando aumentar a satisfação dos clientes por meio da aplicação eficaz do sistema, para isto a norma ABNT NBR ISO 9001:2015 especifica requisitos para um sistema de avaliação da qualidade (ABNT, 2018a).

Por conseguinte, a ABNT NBR ISO 14.001 estabelece um padrão relacionado às questões ambientais conforme as suas operações. É uma norma que visa a sustentabilidade de todo o processo, com instruções do que pode ser reutilizado

proporcionando um consumo menor dos recursos da Terra (ABNT, 2018b).

Já a ISO 45.001:2018, primeira norma internacional de segurança e saúde ocupacional, visa toda a preocupação com o ambiente de trabalho saudável e seguro tanto para trabalhadores quanto para outras pessoas (ABNT, 2018c).

2.6 Processos e Produção de Serviços

A definição de serviço consiste em atividades que trazem benefícios aos clientes e pode ser avaliado somente após serem prestados, por terem uma característica intangível.

Então, o serviço apresenta características nas quais não pode ver, cheirar ou sentir e, normalmente, não é possível experimentar antes de adquirir. Contudo, permite sensações de satisfação nos clientes (MACHADO; REIS; PILLATI, 2006 apud SIQUEIRA, 2005, p. 257).

Como dito acima, serviços são experiências que o cliente vivencia, como, por exemplo, a qualidade no atendimento, limpeza, a organização das mesas, etc. Sendo que quatro elementos precisariam estar presentes em uma afirmação de conceito de serviço, exemplificadas como: a primeira é o experimento do serviço, onde se tem a interação direta do cliente com serviço; a segunda afirmação seria o resultado da prestação do serviço, o que se espera nas saídas de processo de serviço; a terceira é a operação do serviço, no qual o serviço deve ser prestado, limpeza, organização, etc.; e a última é o valor do serviço, que se encaixa nos possíveis benefícios obtidos pelo cliente com o serviço (CORRÊA; CAON, 2012, p. 76 apud JOHNSTON e CLARK, 2002).

3 | METODOLOGIA

A pesquisa é classificada como exploratória, pois tem como objetivo maior intimidade com o problema, tornando-o mais visível e possibilitando a construção de hipóteses. Tendo flexibilidade no planejamento considerando os mais variados aspectos relativos ao estudo (GIL, 2010, p. 27).

Inicialmente, realizou-se uma procura pelo material através do portal da Biblioteca Virtual disponibilizada pela instituição de ensino. Os livros utilizados são os indicados pelos professores conforme a abordagem em sala, já que durante a realização do projeto os pontos avaliados eram as disciplinas cursadas pelos alunos.

Para verificar o ponto de melhoria no restaurante citado, a visita técnica foi realizada entre os meses de agosto a outubro, em 2018, no restaurante *fast food* McDonald's do Shopping Curitiba, em Curitiba, Paraná, foram identificados alguns pontos positivos. O restaurante foi escolhido aleatoriamente, pois houve um sorteio em sala de aula no início do projeto. A equipe de estudantes era composta por 7 alunos e orientados por duas professoras que acompanharam todo o processo de

elaboração da melhoria, através de encontros semanais.

O protótipo da melhoria, caracterizada como poka yoke, foi desenhada pelos alunos e desenvolvida no software *Solidworks*.

4 | DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Neste item será apresentado o dispositivo Poka yoke e sua forma de implantação dentro do sistema produtivo do McDonald's para solucionar as falhas causadas pela falta de atenção dos operadores.

4.1 Identificação da melhoria

Através de uma visita técnica foram identificados alguns pontos positivos no processo de montagem, entre eles: a entrega do pedido com tempo menor que os concorrentes; grande confiabilidade; qualidade com alta conformidade às especificações dos clientes; flexibilidade com possibilidade de alterar o mix e o volume de produção de acordo com a demanda. Além da organização do espaço, higiene, preocupação com a conservação dos condimentos, rapidez e um ambiente harmonioso, todos os funcionários são devidamente treinados e capacitados para desenvolverem qualquer função dentro do restaurante. Além disso, há uma preocupação com a satisfação do cliente, sendo que qualquer cliente pode solicitar a troca de seu lanche por qualquer que seja o motivo.

Com base em informações obtidas com o gerente, todos os dias monta-se uma escala determinando o que funcionário fará durante o expediente, alternando entre atendimento ao cliente, preparação dos alimentos, montagem dos lanches e limpeza.

Para que o colaborador tenha conhecimento de que os produtos nas estufas perderam a validade, é utilizado o sistema de Kanban Sonoro, que avisa a equipe por meio de uma sirene a hora correta de troca dos suprimentos.

Com a visita realizada e os tempos cronometrados, houve um melhor entendimento do funcionamento e atendimento da franquia McDonald's. A melhoria para esse projeto seria a introdução de uma ferramenta da qualidade, na qual reduziria os desperdícios e onde determinaria a quantia exata de alimentos que seriam utilizados.

Apesar dos pontos positivos foi identificado um desperdício excessivo de alimentos na cozinha do restaurante. O hambúrguer, após ser frito, deve ser consumido em até 15 minutos, as batatas em 7 minutos e os *nuggets* em 10 minutos. Caso o alimento atinja seu tempo limite de armazenamento na estufa, é descartado imediatamente. Os demais ingredientes também possuem um tempo de vida específico. Sendo assim, se a quantidade de clientes estimados for inferior ao número da demanda presente, nota-se o desperdício.

O problema do desperdício poderia ter sido evitado se houvesse a ferramenta poka yoke nas bandejas dos alimentos, com o formato dos mesmos. Embora os gerentes tenham informações diárias a respeito da previsão de demanda, foi averiguado que o

erro foi cometido por falta de um sistema que indica a porção correta de suprimentos, pois no processo atual a porção é calculada a “olho nu” pelo colaborador.

Como forma de solucionar o erro do desperdício dos *nuggets*, optou-se pela implementação da ferramenta à prova de erros, poka yoke conforme será descrito a seguir.

4.2 Proposta de melhoria

Poka yoke em tradução literal “à prova de falha”, é um método japonês para melhorar a produção a fim de evitar erros. Tem como ideia principal de que erros humanos são inevitáveis. Os poka yokes são em geral dispositivos simples, e preferencialmente baratos. (SLACK, JONES e JOHNSTON, 2018, P. 712).

Para implantação da ferramenta foi desenvolvido um molde retangular com dez lacunas do tamanho aproximado dos *nuggets*, na qual o operador colocará a quantidade correta. A ideia é que na implantação da ferramenta, os erros de proporção sejam menores, pois os colaboradores enviarão a quantidade correta de cada porção, sendo elas pequenas, médias e grandes, ou seja, a ferramenta permitirá que o colaborador execute a sua tarefa com pequenas porções do alimento e, assim, evitará o desperdício com excesso do material – *nuggets* ou batata frita.

As ilustrações 1 e 2 mostram o protótipo da ferramenta que auxiliará na fritura dos alimentos:

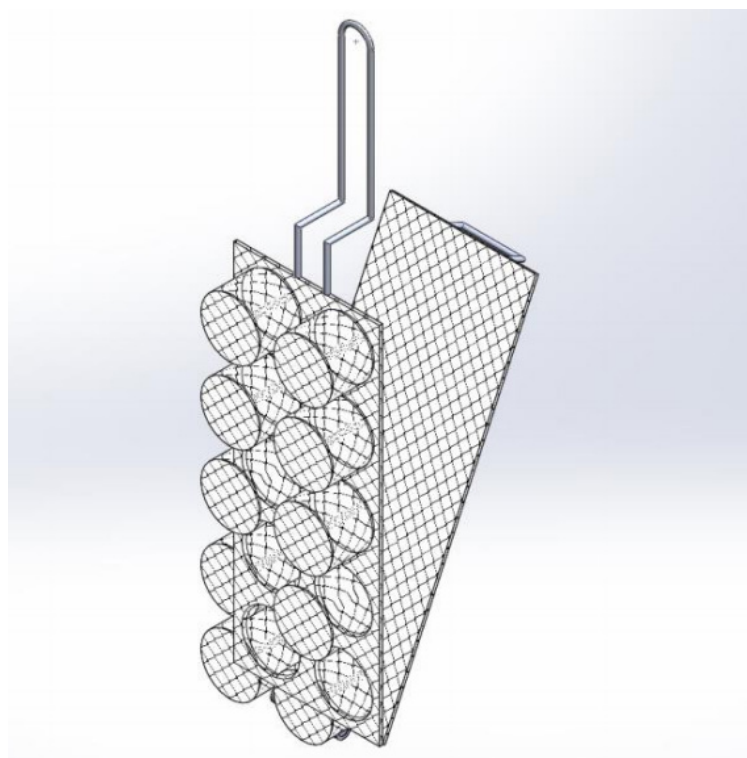


Figura 1 – Molde para fritura dos *nuggets*

Fonte: os autores.

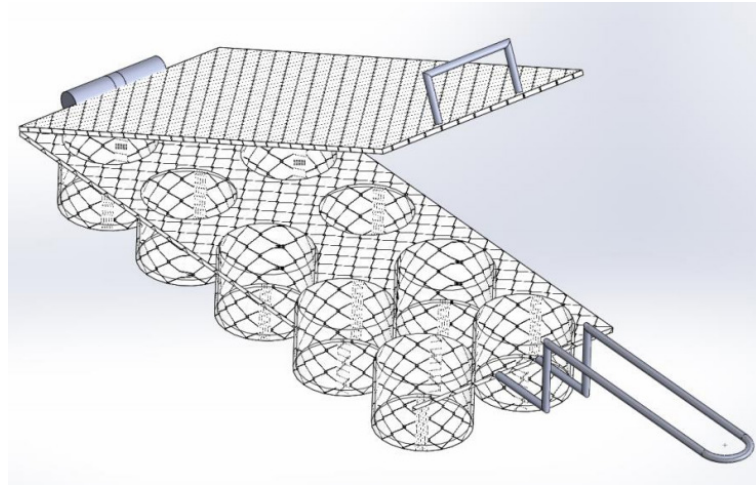


Figura 2 – Molde para fritura dos *nuggets*

Fonte: os autores.

O estudo abordou a ideia de trazer uma vantagem competitiva para o sistema produtivo, visto que a preocupação com o desperdício, atraem clientes preocupados com a sustentabilidade e auxiliam na redução dos custos da empresa.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através de visitas, realizadas no ano de 2018, foi possível alcançar o objetivo do estudo que era identificar uma oportunidade de melhoria, conforme o estudo concomitante ao estudado na sala de aula. O dispositivo foi desenvolvido visando a redução nos desperdícios de comida, já que a quantidade exata é feita para atender a demanda exigida pelos clientes. Para os próximos trabalhos, sugere-se mensurar o ganho com a implantação do dispositivo.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, Douglas Soares. **Tempos e métodos aplicados a produção de bens**. 1ª Ed. Curitiba: Intersaberes, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Catálogo ABNT NBR ISO 9001:2015. 2018a. Disponível em: < <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=345041> > Acesso em: 19 de out. de 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Catálogo ABNT NBR ISO 14001:2015. 2018b. Disponível em: < <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=345116> > Acesso em: 19 de out. de 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Catálogo ISO 45001:2018. 2018c. Disponível em: < <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=303877> > Acesso em: 19 de out. de 2018

BEZERRA, Cicero Aparecido. **PPCP: técnicas de planejamento, programação e controle da produção**. Curitiba: Ibpex, 2011.

CORRÊA, H. L.; CAON, M. **Gestão de serviços: lucratividade por meio de operações e satisfação dos clientes**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2018

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENIO, Fernando Piero. **Administração da produção fácil**. São Paulo: Saraiva, 2012.

MCDONALD'S. Institucional. Disponível em: <https://www.mcdonalds.com.br/quem-somos>. Acesso em: 12. dez. 2018

RITZMAN, Larry P.; KRAJEWSKI, Lee J.. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2004.

SLACK, Nigel et al. **Administração da produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

MODELAGEM DA DISPERSÃO DE POLUENTES NA ATMOSFERA UTILIZANDO UMA ABORDAGEM ANALÍTICA

Régis Sperotto de Quadros

Universidade Federal de Pelotas, Dep. de Matemática e Estatística, PPG em Modelagem Matemática, Pelotas / RS, quadros99@gmail.com

Glênio Aguiar Gonçalves

Universidade Federal de Pelotas, Dep. de Matemática e Estatística, PPG em Modelagem Matemática, Pelotas / RS, gleniogoncalves@yahoo.com.br

Daniela Buske

Universidade Federal de Pelotas, Dep. de Matemática e Estatística, PPG em Modelagem Matemática, Pelotas / RS, danielabuske@gmail.com

RESUMO: Neste trabalho é apresentada uma solução analítica para a equação de advecção-difusão tridimensional transiente para simular a dispersão de poluentes na atmosfera. A solução da equação de advecção-difusão é obtida de forma analítica utilizando uma combinação dos métodos de separação de variáveis e GILTT. A principal vantagem é que a solução apresentada evita uma inversão numérica realizada em trabalhos prévios da literatura, sendo esta uma solução totalmente analítica, a menos de truncamento de um somatório. Simulações numéricas e comparações estatísticas utilizando dados do experimento de Copenhagen são apresentadas e comprovam o bom desempenho do modelo.

PALAVRAS-CHAVE: Dispersão atmosférica. Solução analítica. Equação de advecção-difusão transiente. Modelagem da dispersão de poluentes.

AIR POLLUTION MODELLING IN ATMOSPHERE BY AN ANALYTICAL APPROACH

ABSTRACT: This work presents an analytical solution for the transient three-dimensional advection-diffusion equation to simulate the dispersion of pollutants in the atmosphere. The solution of the advection-diffusion equation is obtained analytically using a combination of the methods of separation of variables and GILTT. The main advantage is that the presented solution avoids a numerical inversion carried out in previous works of the literature, being by this way a totally analytical solution, less than a summation truncation. Initial numerical simulations and statistical comparisons using data from the Copenhagen experiment are presented and prove the good performance of the model.

KEYWORDS: Atmospheric Dispersion. Analytical Solution. Time-Dependent Advection-Diffusion Equation. Air Pollution Modelling.

1 | INTRODUÇÃO

Continuamente uma grande atenção tem sido dispendida para resolver analiticamente a equação de advecção-difusão com o objetivo de simular a dispersão de poluentes na atmosfera de uma maneira mais realística. Ao longo dos anos apareceram diversas soluções na literatura como resultado destas pesquisas. Estas soluções, em sua grande maioria, são para casos muito específicos, considerando coeficientes de difusão simples ou constantes (Moreira et al., 2009).

Um grande passo foi dado no início dos anos 2000, quando do surgimento do método GILTT que resolve a equação de advecção-difusão multidimensional dependente do tempo (Moreira et al., 2009; Buske et al., 2016), assumindo perfil de vento e coeficientes de difusão variáveis. Para o caso de um problema dependente do tempo, a equação de advecção-difusão é resolvida aplicando a transformada de Laplace na variável temporal e o problema estacionário resultante é então resolvido pelo método GILTT. A concentração final é obtida por inversão numérica no tempo usando quadratura gaussiana.

Neste trabalho mostramos um avanço em relação aos trabalhos previamente publicados, apresentando uma solução para a equação de advecção-difusão multidimensional dependente do tempo, sem a necessidade da inversão numérica da variável temporal. Tal solução é obtida através de uma combinação dos métodos de separação de variáveis e GILTT. Com esta metodologia obtêm-se a concentração final de poluentes muito mais rapidamente, ficando o erro restrito apenas a um truncamento de somatório. Parte deste trabalho foi publicado na 8th Conferência Sul de Modelagem Matemática (Quadros et al., 2018).

2 | METODOLOGIA DE SOLUÇÃO

A equação tridimensional de advecção-difusão, com fechamento Fickiano da turbulência, que descreve a dispersão de poluentes na atmosfera, é escrita como

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \quad (1)$$

onde $C(t, x, y, z)$ é a função concentração média de poluente (kg/m^3), K_y é o coeficiente de difusão lateral (m^2/s), K_z é o coeficiente de difusão vertical (m^2/s), u é a componente da velocidade média do vento na direção x (m/s). A Eq. (1) está sujeita às seguintes condições de contorno, inicial e de fonte:

$$K_z \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \text{ em } z = 0, h \quad (2.a)$$

$$uC(0, x, y, z) = Q(0)\delta(x)\delta(y)\delta(z - H_s) \quad (2.b)$$

$$uC(t, 0, y, z) = Q(t)\delta(y)\delta(z - H_s) \quad (2.c)$$

na qual h (m) é a altura da camada limite, H_s (m) é a altura da fonte e Q (g/m²) é a intensidade da fonte, respectivamente.

Fazendo a separação de variáveis da equação diferencial do modelo de dispersão tridimensional, inicialmente considerando u e K_y constantes e expressando os autovalores em uma forma conveniente:

$$\frac{d}{dt} T_{\kappa\lambda} = -(\kappa^2 K_y + \lambda) T_{\kappa\lambda} \quad (3.a)$$

$$u \frac{d}{dx} X_{\alpha\lambda} = (\alpha + \lambda) X_{\alpha\lambda} \quad (3.b)$$

$$\frac{d^2}{dy^2} Y_{\kappa} = -\kappa^2 Y_{\kappa} \quad (3.c)$$

$$\frac{d}{dz} \left(K(z) \frac{d}{dz} Z_{\alpha} \right) = \alpha \frac{d}{dz} Z_{\alpha} \quad (3.d)$$

A solução da Eq. (3.a) é dada por $T_{\kappa\lambda}(t) = T_{\kappa}(t) T_{\lambda}(t) = e^{-\kappa^2 K_y t} e^{-\lambda t}$. A solução da Eq. (3.b) é $X_{\alpha\lambda}(x) = X_{\alpha}(x) X_{\lambda}(x) = e^{\frac{(\alpha+\lambda)x}{u}} = e^{\frac{\alpha x}{u}} e^{\frac{\lambda x}{u}}$ e a solução da Eq. (3.c) é $Y_{\kappa}(y) = A(\kappa) \cos(\kappa y)$. A solução da Eq. (3.d) é obtida pelo método GILTT (Moreira et al., 2009). Assim, a solução do problema (1) é dada na forma de produto como

$$C_{\kappa\lambda\alpha}(t, x, y, z) = [\psi_{\kappa}(t, y)][\phi_{\lambda}(t, x)][\varphi_{\alpha}(x, z)] \quad (4)$$

Olhando individualmente cada um dos fatores que compõem a Eq. (4), usando as soluções das Eq. (3), é possível escrever que

$$\psi_{\kappa}(t, y) = T_{\kappa}(t) Y_{\kappa}(y) = A(\kappa) e^{-\kappa^2 K_y t} \cos(\kappa y) \quad (5)$$

$$\phi_{\lambda}(t, x) = T_{\lambda}(t) X_{\lambda}(x) = e^{-\lambda t} e^{\frac{\lambda x}{u}} e^{\lambda t} = e^{-\frac{\lambda}{u}(ut-x)} \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(K(z) \frac{\partial}{\partial z} \varphi_{\alpha}(x, z) \right) = u \frac{\partial}{\partial z} \varphi_{\alpha}(x, z) \quad (7)$$

onde $\varphi_{\alpha}(x, z) = X_{\alpha}(x) Z_{\alpha}(z)$. Utilizando as considerações acima, e lembrando que, uma vez que o domínio é infinito em x e y os autovalores são contínuos, e que m e λ (1/s) são contínuos no intervalo $[0, \infty)$, a concentração final pode ser expressa como

$$C(t, x, y, z) = \psi(t, y) \phi(t, x) \xi(x, z) \quad (8)$$

$$\text{onde: } \psi(t, y) = \int_0^{\infty} A(\kappa) \psi_{\kappa}(t, y) d\kappa, \quad \phi(t, x) = \int_0^{\infty} B(\lambda) \phi_{\lambda}(t, x) d\lambda \quad \text{e} \quad \xi(x, z) = \int_0^{\infty} C(\alpha) Z_{\alpha}(x, z) d\alpha$$

Para determinar as funções $\psi(t, y)$ e $\phi(t, x)$ das equações anteriores usamos as condições inicial e de fonte do problema original. O desenvolvimento é apresentado em (Gonçalves et al., 2018), e as expressões são dadas por:

$$\psi(t, y) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} e^{-K_y \kappa^2 t} \cos(\kappa y) d\kappa = \frac{2}{\sqrt{4\pi K_y t}} e^{-\frac{y^2}{4K_y t}} \quad (9)$$

$$\phi(t, x) = \int_0^{\infty} L^{-1}\{Q(t), t \rightarrow \lambda\} e^{-\lambda(t-\frac{x}{u})} d\lambda = Q\left(t - \frac{x}{u}\right) \quad (10)$$

Finalmente, a solução será o produto das equações anteriores e a solução GILTT, ou seja,

$$C(t, x, y, z) = \frac{2}{\sqrt{4\pi K_y t}} e^{-\frac{y^2}{4K_y t}} Q\left(t - \frac{x}{u}\right) \xi(x, z). \quad (11)$$

A função $\xi(x, z)$ vem da solução obtida pelo método GILTT que basicamente compreende os seguintes passos: expansão da concentração em uma série de autofunções obtidas de um problema de Sturm-Liouville, substituição na equação de advecção-difusão e tomada de momentos, o que resulta em uma equação diferencial ordinária matricial que é então resolvida analiticamente por transformada de Laplace. Para detalhes veja os trabalhos de Moreira et al. (2009) e Buske et al. (2016).

É importante lembrar que a solução usando uma fonte distribuição delta de Dirac é uma solução de Green. Isto significa que conhecendo a solução de Green, podemos encontrar soluções com formas distintas de fontes dependentes do tempo utilizando o princípio da superposição para problemas com operadores lineares. Para uma fonte delta da forma $\delta(t - \tau)$, a solução de Green é escrita como

$$C(t, \tau, x, y, z) = \frac{2Mu}{\sqrt{16\pi^2 K_x K_y t^2}} e^{-\frac{y^2}{4K_y t}} e^{-\frac{(u(t-\tau)-x)^2}{4K_x t}} \xi(x, z) \quad (12)$$

Se considerarmos um problema com uma fonte arbitrária $Q(t)$ emitindo em um intervalo (t_0, t) , a solução para o problema é dada pela integração em τ no intervalo $[t_0, t]$. Num caso particular, a solução para a pluma pode ser construída usando a função de Heaviside como fonte:

$$C(t, x, y, z) = \frac{2uQe^{-\frac{y^2}{4K_y t}}}{\sqrt{16\pi^2 K_x K_y t^2}} \int_0^t e^{-\frac{(u(t-\tau)-x)^2}{4K_x t}} d\tau \xi(x, z) \quad (13)$$

onde $M = Qd\tau$ é a massa liberada no intervalo t e t_0 é igual a zero. Assim

$$C(t, x, y, z) = \frac{Qe^{-\frac{y^2}{4K_y t}}}{\sqrt{4\pi K_y t}} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{ut-x}{4K_x t}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{-x}{4K_x t}\right) \right] \xi(x, z) \quad (14)$$

na qual erf é a função erro. Essa solução mostra a evolução temporal da concentração média de poluentes de uma pluma cuja fonte começa a liberação no tempo $t = 0$.

3 | PARAMETRIZAÇÃO DA TURBULÊNCIA

Com o objetivo de comparar os resultados obtidos com os da literatura, a parametrização da turbulência escolhida foi a mesma adotada pelos autores Moreira et al. (2009) e Buske et al. (2016).

O coeficiente de difusão vertical pode ser formulado em termos dos parâmetros de escala convectivos como (Degrazia et al., 1997):

$$\frac{K_z}{w_* h} = 0.22 \left(\frac{z}{h}\right)^{1/3} \left(1 - \frac{z}{h}\right)^{1/3} \left[1 - \exp\left(-\frac{4z}{h}\right) - 0.0003 \exp\left(\frac{8z}{h}\right)\right] \quad (15)$$

Para os coeficientes de difusão lateral, a formulação dada em Seinfeld and Pandis (1998) foi usada:

$$K_\alpha = 0.1 w_* h \quad (16)$$

onde α representa as direções x e y , respectivamente.

O perfil de vento pode ser descrito como uma lei da potência e expresso como (Panofsky and Dutton, 1988):

$$\frac{u_z}{u_1} = \left(\frac{z}{z_1}\right)^n \quad (17)$$

onde u_z e u_1 são as velocidades médias do vento horizontal nas alturas z e z_1 , e n é um expoente que é relacionado com a intensidade da turbulência (Irwin, 1979).

4 | RESULTADOS NUMÉRICOS

O desempenho do novo modelo foi avaliado considerando as parametrizações da turbulência propostas na seção 3, o conjunto de dados do experimento difusivo de Copenhagen (Gryning and Lyck, 1984) e a integração lateral da Eq. (14). Para o caso instável aqui estudado, $n=0.1$ foi adotado no perfil de vento potência.

No experimento de Copenhagen, o traçador SF_6 foi liberado sem empuxo de uma torre 115 m de altura e coletado ao nível do solo em unidades de amostragem localizadas em três arcos perpendiculares ao vento médio, posicionadas de 2-6 km do ponto de liberação. As liberações de SF_6 começaram uma hora antes do início da amostragem e o tempo médio das medidas foi de uma hora, com imprecisão de 10%. O local era principalmente residencial com um comprimento de rugosidade de 0.6 m (altura em que o vento é zero). Na Tab. (1) são apresentados os dados meteorológicos do experimento de Copenhagen, sendo \bar{u} a velocidade do vento médio (m/s), u_* a velocidade de fricção (m/s), L o comprimento de Monin-Obukhov, w_* a escala de

velocidade convectiva vertical e h a altura da camada limite convectiva. Estes dados meteorológicos são médias horárias.

Expt	\bar{u} (115m) (ms^{-1})	\bar{u} (10m) (ms^{-1})	u_* (ms^{-1})	L (m)	w_* (ms^{-1})	h (m)
1	3.4	2.1	0.36	-37	1.8	1980
2	10.6	4.9	0.73	-292	1.8	1920
3	5.0	2.4	0.38	-71	1.3	1120
4	4.6	2.5	0.38	-133	0.7	390
5	6.7	3.1	0.45	-444	0.7	820
6	13.2	7.2	1.05	-432	2.0	1300
7	7.6	4.1	0.64	-104	2.2	1850
8	9.4	4.2	0.69	-56	2.2	810
9	10.5	5.1	0.75	-289	1.9	2090

Tabela 1: Parâmetros meteorológicos do experimento de Copenhagen.

Na Fig. 1 é mostrado o diagrama de espalhamento dos dados observados experimentalmente (C_o) comparados com os preditos (C_p) pelo novo modelo, para o caso de concentrações integradas do poluente ao nível do solo. As linhas pontilhadas indicam que os dados estão entre um fator de dois. A figura mostra que uma concordância razoável é encontrada entre os dados experimentais e os obtidos pela nova metodologia.

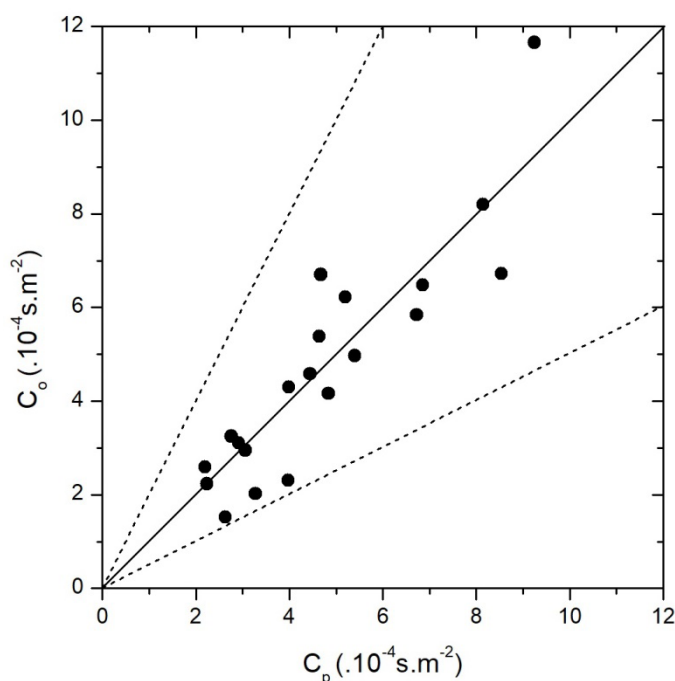


Figura 1: Diagrama de espalhamento dos dados observados (C_o) das concentrações integradas do poluente ao nível do solo, comparados com os preditos (C_p) pelo novo modelo, usando dados do experimento de Copenhagen.

As Tabelas 2 e 3 apresentam a concentração média ao nível do solo integrada lateralmente, da segunda hora de medidas do poluente, no experimento de Copenhagen. O presente modelo é comparado com os resultados apresentados em Buske et al. (2016), obtidos pelo método GILTT. O método GILTT resolve o problema

aplicando a técnica da transformada de Laplace na variável temporal, e a equação estacionária resultante é resolvida analiticamente por transformada integral. A concentração final é obtida por uma inversão numérica no tempo.

Expt	Distância (m)	C_o	$C_{p1 - presente}$	$C_{p2 - GILTT}$
1	1900	6.48	5.47	7.66
	3700	2.31	3.77	4.35
2	2100	5.38	3.84	5.05
	4200	2.95	2.96	3.41
3	1900	8.20	7.37	8.96
	3700	6.22	5.16	5.62
	5400	4.30	3.98	4.15
4	4000	11.66	9.24	9.47
5	2100	6.72	8.49	9.38
	4200	5.84	6.71	7.37
	6100	4.97	5.39	5.75
7	2000	6.70	3.72	5.09
	4100	3.25	2.63	3.06
	5300	2.23	2.20	2.46
8	1900	4.16	4.26	5.12
	3600	2.02	3.23	3.45
	5300	1.25	2.62	2.72
9	2100	4.58	3.60	4.83
	4200	3.11	2.80	3.26
	6000	2.59	2.18	2.46

Tabela 2: Concentrações superficiais integradas lateralmente observadas (C_o) e preditas (C_p) usando os dados do experimento de Copenhagen. O conjunto de dados apresenta valores médios de concentração e dados meteorológicos. O presente modelo é comparado com os resultados apresentados em Buske et al. (2016). As concentrações são normalizadas pela taxa de emissão.

Os índices estatísticos clássicos (Hanna, 1989), apresentados na Tabela 3, mostram que os modelos simulam satisfatoriamente as concentrações observadas no experimento, uma vez que os valores dos índices $nmse$ (erro quadrático médio normalizado), fb (fração de inclinação) e fs (desvio padrão) são relativamente próximos a zero e os valores dos índices cor (coeficiente de correlação) e $fa2$ (fator de dois) relativamente próximos a 1.

Modelo	$nmse$	cor	$fa2$	fb	fs
Presente	0.07	0.87	1.00	0.06	0.19
GILTT	0.06	0.89	1.00	-0.08	0.09

Tabela 3: Comparação estatística do modelo com resultado da literatura.

A Tabela 3 também permite afirmar que o novo modelo e os resultados obtidos previamente pela GILTT são muito similares. A vantagem aqui é a não necessidade

de realizar a inversão numérica no tempo, realizada nos trabalhos anteriores, o que nos permite obter o resultado final mais rapidamente.

5 | CONCLUSÕES

O modelo aqui proposto é uma solução analítica, no sentido de que nenhuma aproximação é feita ao longo da derivação exceto pelo erro de truncamento. A concentração pode ser obtida a qualquer tempo devido ao caráter analítico da solução e como consequência, esta metodologia demanda um pequeno esforço computacional. A comparação com dados experimentais apresenta bons resultados do ponto de vista estatístico. Além disso, o caráter analítico e a simplicidade da solução reforçam que o método proposto é um método robusto e promissor para simular a dispersão de poluentes na atmosfera. O foco dos trabalhos futuros será em estender a investigação para investigar outros cenários de interesse da área.

6 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo financiamento parcial desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BUSKE, D.; VILHENA, M. T.; MOREIRA, D. M. ***Solução GILTT Bidimensional em Geometria Cartesiana: Simulação da Dispersão de Poluentes na Atmosfera***. Saarbrücken: Novas Edições Acadêmicas, 2016. 216 p.
- DEGRAZIA, G. A.; CAMPOS VELHO, H. F.; CARVALHO, J. C. **Nonlocal exchange coefficients for the convective boundary layer derived from spectral properties**. Contributions to Atmos. Physics, v. 70, n. 1, p. 57-64, 1997.
- GONÇALVES, G. A.; BUSKE, D.; QUADROS, R. S.; WEYMAR, G. J. **A new approach to solve the time-dependent three-dimensional advection-diffusion equation applied to model air pollution dispersion in the planetary boundary layer**. International Journal of Development Research, v. 8, n. 5, p. 20535-20543, 2018.
- GRYNING, S.E.; LYCK, E. **Atmospheric dispersion from elevated source in an urban area: comparison between tracer experiments and model calculations**. Journal of Climate Applied Meteorology, v. 23, p. 651-654, 1984.
- HANNA, S. R. **Confidence limit for air quality models as estimated by bootstrap and jackknife resampling methods**. Atmospheric Environment, v. 23, p. 1385-1395, 1989.
- IRWIN, J. S. **A theoretical variation of the wind profile power-law exponent as a function of surface roughness and stability**. Atmospheric Environment, v. 13, p. 191-194, 1979.
- MOREIRA, D. M.; VILHENA, M. T.; BUSKE, D.; TIRABASSI, T. **The state-of-art of the GILTT method to simulate pollutant dispersion in the atmosphere**. Atmospheric Research, 92, 1–17, 2009.

PANOFSKY, H. A.; DUTTON, J. A. *Atmospheric Turbulence*. John Wiley & Sons, New York, 1988.

QUADROS, R. S. ; GONÇALVES, G. A.; BUSKE, D. **Uma nova abordagem analítica para o problema de modelagem da dispersão de poluentes na atmosfera**. In: 8TH CONFERÊNCIA SUL EM MODELAGEM COMPUTACIONAL, 2018, Rio Grande - RS. 2018. p. 1-11.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. *Atmospheric chemistry and physics of air pollution*. John Wiley & Sons, New York, 1998.

O ÍNDICE DE CONFIABILIDADE PARABÓLICO

Emmanuel Guasti Ferreira

Instituto Federal do Espírito Santo

Vitória - Espírito Santo

Marcílio Sousa da Rocha Freitas

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
(PROPEC) - UFOP

Ouro Preto - Minas Gerais

José Antônio da Rocha Pinto

Departamento de Matemática (DMAT) - UFES

Vitória - Espírito Santo

Geraldo Rossoni Sisquini

Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) -
UFES

Vitória - Espírito Santo

confiabilidade parabólico. Esse índice de confiabilidade foi calculado com a finalidade de melhorar os resultados estabelecidos pelo método SORM. A análise de confiabilidade estrutural de segunda ordem de várias funções de falha (superfícies de falha ou superfícies de estado limite) foi realizada e os resultados fornecidos pelo índice de confiabilidade parabólico, para efeito de comparação com as Simulações Monte Carlo (SMC), foram iguais ou melhores do que os resultados calculados pelo método SORM.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de Confiabilidade, FORM, Curvaturas Principais, SORM e Simulação de Monte Carlo.

THE PARABOLIC RELIABILITY INDEX

ABSTRACT: A reliability index called parabolic reliability index is displayed, which is the independent variable of a parabolic function of the second degree, whose value set is dependent on the first order reliability index (obtained by FORM method), of the second order reliability index (obtained by SORM method), of the sum of the principal curvatures, which are calculated via analytical geometry and provided to the SORM method, and a characteristic value (ψ), established by the authors based on the sum of the main curvatures, which has a hyperbolic relationship with the parabolic reliability index.

RESUMO: Um índice de confiabilidade é apresentado, denominado índice de confiabilidade parabólico, que é a variável independente de uma função parábola do segundo grau, cujo valor estabelecido é dependente do índice de confiabilidade de primeira ordem (obtido pelo método FORM), do índice de confiabilidade de segunda ordem (obtido pelo método SORM), da soma das curvaturas principais, que são calculadas via geometria analítica e fornecidas ao método SORM, e de um valor característico (ψ), estabelecido pelos autores com base na soma das curvaturas principais, que possui uma relação hiperbólica com o índice de

This reliability index was calculated in order to improve outcomes established by SORM method. The second order structural reliability analysis of several failure functions (failure surfaces or limit state surfaces) was performed, the results provided by the parabolic reliability index, for the purpose of comparison with Monte Carlo Simulations were equal to or better than the results calculated by SORM method.

KEYWORDS: Reliability index, FORM, Main curvatures, SORM and Monte Carlo Simulation.

1 | INTRODUÇÃO

O método SORM foi concebido com a finalidade de melhorar a precisão dos cálculos do método FORM, ou seja, melhorar a determinação do índice de confiabilidade de primeira ordem (β_F) e/ou a probabilidade de falha de primeira ordem, $P_f = \Phi(-\beta_F)$. A ideia do método SORM é basicamente a mesma do FORM, ou seja, é aproximar a superfície de falha por um hiperparabolóide e não por um hiperplano, no ponto de projeto. Portanto, a diferença entre ambos consiste na aproximação feita para a superfície de falha no espaço reduzido. O SORM ao invés de utilizar uma superfície linear no ponto de projeto, ponto de maior densidade de probabilidade de falha, faz uma aproximação por uma superfície quadrática, como mostra a Figura 1. As curvaturas principais (k_j) do hiperparabolóide, no ponto do projeto, são calculadas, por exemplo, conforme Ferreira (2015) e são iguais às da superfície de falha.

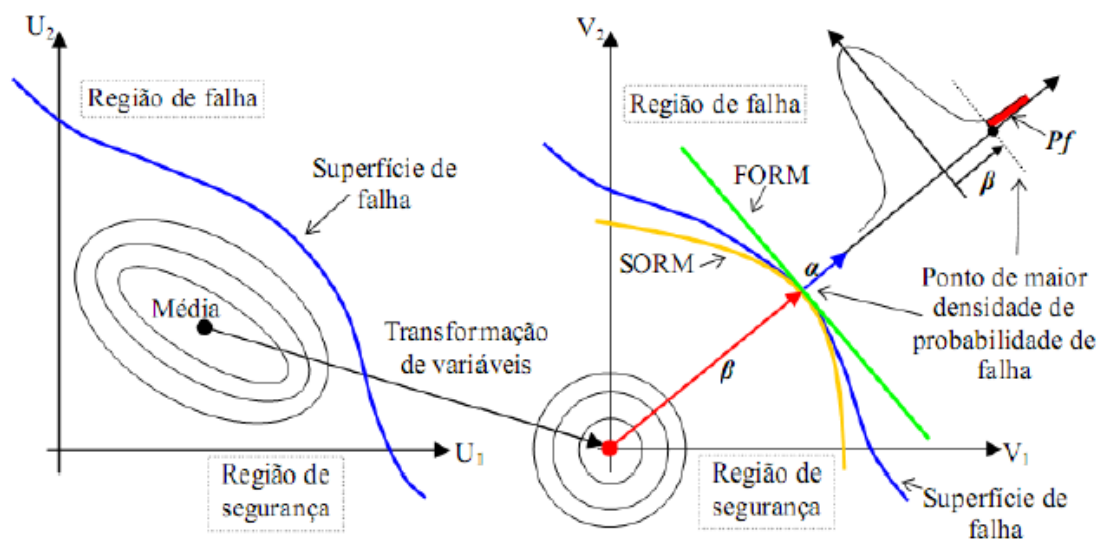


Figura 1: Demonstração gráfica da transformação de variáveis e dos métodos FORM e SORM.

Fonte: Adaptado de Rojas (2008).

Uma solução simples para o cálculo da probabilidade de falha de segunda ordem, usando uma aproximação de segunda ordem, foi desenvolvida por Breitung (1984), utilizando a teoria de aproximações assintóticas, que é suficientemente precisa para um grande valor do índice de confiabilidade β_F ($1 \leq \beta_F \rightarrow \infty$), baseado num ajustamento a um hiperparabolóide, dada por:

$$P_{fs} \approx \Phi(-\beta_F) \prod_{j=1}^{n-1} (1 + \beta_F k_j)^{-1/2}, \quad (1)$$

onde $\Phi(-\beta_F)$ é a distribuição cumulativa normal padrão de probabilidades, n é o número de variáveis aleatórias envolvidas na análise e k_j ($j = 1, \dots, n-1$) são as curvaturas principais do hiperparabolóide no ponto de distância mínima à origem (ponto de projeto).

Tvedt (1990) formulou uma aproximação de três termos para o conteúdo de probabilidade, que é um procedimento exato para a aproximação por um hiperparabolóide, no interior da superfície de aproximação quadrática da seguinte forma (Cizelj et al., 1994; Lee et al., 2005; Madsen et al., 2006):

$$P_{fs} \approx A_1 + A_2 + A_3 \quad (2)$$

onde A_1 , A_2 e A_3 podem ser calculados por meio da Equação (3), conforme ilustrado abaixo:

$$\begin{aligned} A_1 &= \Phi(-\beta_F) \prod_{j=1}^{n-1} (1 + \beta_F k_j)^{-1/2} \\ A_2 &= [\beta_F \Phi(-\beta_F) - \phi(\beta_F)] \left\{ \prod_{j=1}^{n-1} (1 + \beta_F k_j)^{-1/2} - \prod_{j=1}^{n-1} (1 + (\beta_F + 1)k_j)^{-1/2} \right\} \\ A_3 &= (\beta_F + 1) [\beta_F \Phi(-\beta_F) - \phi(-\beta_F)] \left\{ \prod_{j=1}^{n-1} (1 + \beta_F k_j)^{-1/2} - \operatorname{Re} \left[\prod_{j=1}^{n-1} (1 + (\beta_F + i)k_j)^{-1/2} \right] \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

onde $\operatorname{Re}[\]$ representa a parte real do argumento complexo e i , no terceiro termo, é uma unidade imaginária, A_1 é uma aproximação assintótica da P_{fs} , que é exata para $1 \leq \beta_F \rightarrow \infty$, A_2 e A_3 são termos de correção, Φ e ϕ são a função cumulativa de probabilidades e a função densidade de probabilidades para a distribuição normal padronizada. O primeiro termo da aproximação de Tvedt é o mesmo que o da aproximação de Breitung e os outros termos são as equações de modificação de ordem superior aplicadas nesse método, que compõem a Equação (3).

2 | O ÍNDICE DE CONFIABILIDADE PARABÓLICO (B_p)

Esse índice visa melhorar a qualidade dos resultados fornecidos pelo método SORM quanto à aproximação do valor do índice de confiabilidade de segunda ordem (β_S) e/ou da probabilidade de falha de segunda ordem (P_{fs}).

2.1. Obtenção

Através da resolução de diversos exemplos foi observada a aproximação

$$\beta_S - \beta_F \approx \Sigma k_j, \quad (4)$$

onde o termo Σk_j é a soma das curvaturas principais, no ponto de projeto, da

superfície de estado limite. Introduzindo, agora, o índice de confiabilidade parabólico (β_p) na Equação (4) sem alterá-la, do ponto de vista da matemática, tem-se

$$(\beta_S - \beta_p) + (\beta_p - \beta_F) \approx \Sigma k_j, \quad (5)$$

e com a finalidade, na Equação (5), de ser colocado o sinal de igual, será introduzido, de maneira conveniente, um valor ψ , então

$$(\beta_S - \beta_p) (-\psi) + (\beta_p - \beta_F) (\psi) = \Sigma k_j. \quad (6)$$

Com o objetivo de eliminar a dúvida relativa ao sinal de ψ , na Equação (6), tanto o termo à direita quanto o à esquerda são elevados ao quadrado, logo

$$[(\beta_S - \beta_p) (-\psi) + (\beta_p - \beta_F) (\psi)]^2 = [\Sigma k_j]^2. \quad (7)$$

Resolvendo a Equação (7) é obtida a Equação (8), ou seja,

$$4 \psi^2 \beta_p^2 - 4 \psi^2 (\beta_S + \beta_F) \beta_p + [(\psi) (\beta_S + \beta_F)]^2 - (\Sigma k_j)^2 = 0, \quad (8)$$

e na Equação (8), que é uma função parábola do segundo grau (ver Figura 2), fazendo $a = 4 \psi^2$, $b = -4 \psi^2 (\beta_S + \beta_F)$ e $c = [(\psi) (\beta_S + \beta_F)]^2 - (\Sigma k_j)^2$, ela passa a ser reescrita na forma

$$F(\beta_p) = a \beta_p^2 + b \beta_p + c = 0. \quad (9)$$

A solução da Equação (9) é fornecida por

$$\beta_p = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a}, \quad (10)$$

onde $\Delta = b^2 - 4ac$.

As derivadas de primeira e segunda ordem da função $F(\beta_p)$ são fornecidas por

$$\frac{d[F(\beta_p)]}{d(\beta_p)} = 2a \beta_p + b, \quad (11)$$

$$\frac{d^2[F(\beta_p)]}{d(\beta_p)^2} = 2a, \quad (12)$$

onde as coordenadas do vértice, representadas a seguir, foram obtidas através das Equações (9) e (11), respectivamente:

$$\beta_{pv} = \frac{-b}{2a}, \quad (13)$$

$$F_v(\beta_{pv}) = \frac{-\Delta}{4a}, \quad (14)$$

sendo sempre um ponto de mínimo $[\beta_{pv}, F_v(\beta_{pv})]$, pois a derivada de segunda ordem, também, sempre será positiva ($a > 0$), conforme ilustrado na Figura 2. Como consequência o domínio da função é $\psi \neq 0$, fornecido por

$$\Delta > 0. \quad (15)$$

A Equação (10) pode ser representada, também, na forma

$$\beta_p = \beta_{pv} \pm \frac{\sqrt{\Delta}}{2a}. \quad (16)$$

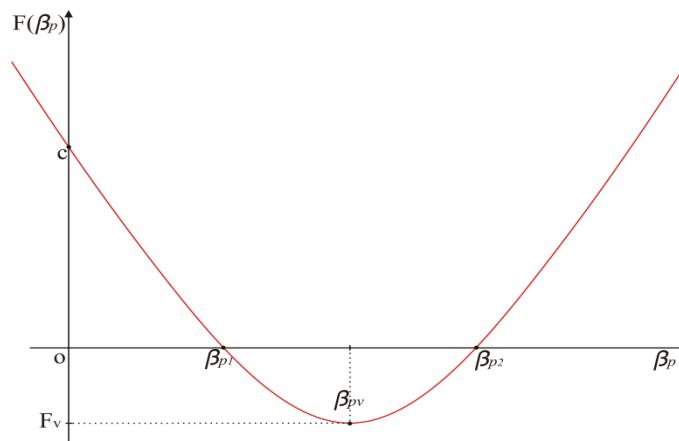


Figura 2: Gráfico da função parábola do 2º grau $F(\beta_p)$.

Substituindo, na Equação (16), β_{pv} , a e Δ , a fim de que β_p fique em função de β_F , β_S , Σk_j e ψ , que são os dados de entrada na referida equação para o cálculo de β_p , obtém-se uma função hiperbólica $\beta_p(\psi)$ (ver as Figura 3 e Figura 4), pois

$$\beta_p(\psi) = \frac{\beta_F + \beta_S}{2} + \frac{\Sigma k_j}{2|\psi|}. \quad (17)$$

O sinal do termo $\frac{\Sigma k_j}{2|\psi|}$ da Equação (17), é governado pela soma das curvaturas principais (Σk_j), que pode ter sinal negativo ou positivo. O sinal da Σk_j será negativo quando $\beta_s < \beta_F$ e positivo quando $\beta_s > \beta_F$. No entanto, quando $\Sigma k_j \rightarrow 0$, $\beta_p(\psi) \rightarrow \beta_{pv} \rightarrow \beta_{smc}$, como preconiza a Equação (17), pois

$$\beta_{pv} = \frac{\beta_F + \beta_S}{2}, \quad (18)$$

e o valor de β_p β_F β_{smc} visto que $\beta_F = \beta_S$, e passa a não depender mais do valor de ψ .

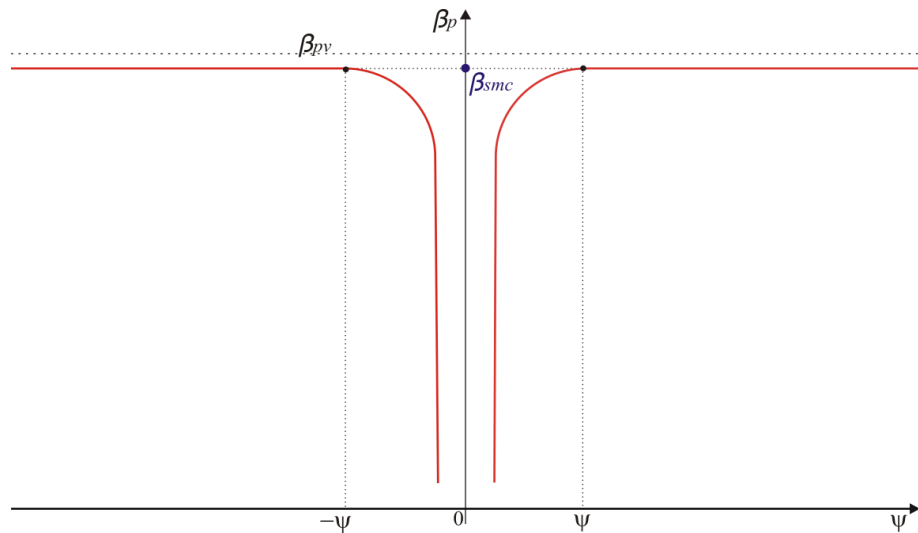


Figura 3: Gráfico da função hiperbólica $\beta_p(\psi)$, quando $\Sigma k_j < 0$.

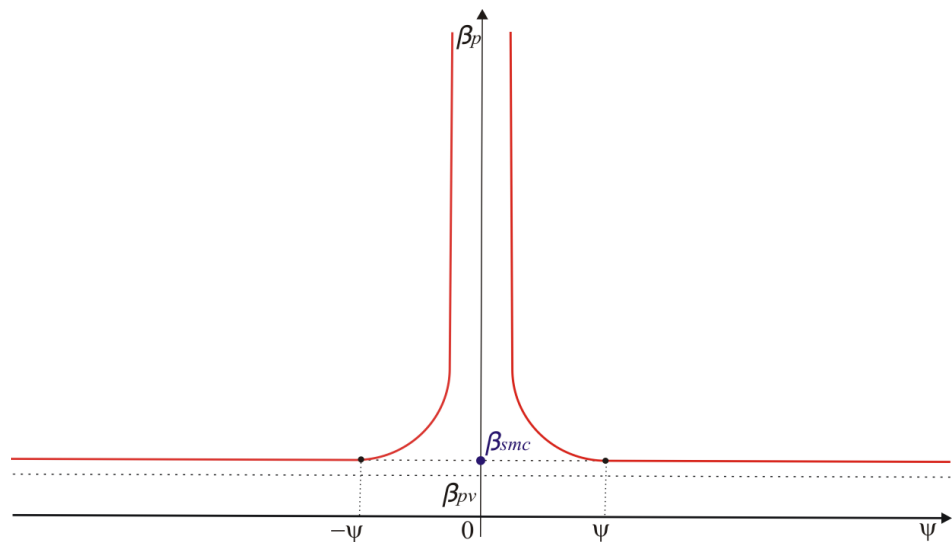


Figura 4: Gráfico da função hiperbólica $\beta_p(\psi)$, quando $\Sigma k_j > 0$.

Quando a Σk_j não for muito pequena, que é o que ocorre com maior frequência, o valor de β_p é função do valor de ψ conforme mostrado na Equação (17) e ilustrado nas Figuras 3 e 4.

Analisando as Figuras 3 e 4, fica constatado que o domínio da função é $\psi \neq 0$ e quando $\psi \rightarrow \infty$ ou $\psi \rightarrow -\infty$, $\beta_p \rightarrow \beta_{pv} \rightarrow \beta_{smc}$. Caso isso não ocorra $\beta_{pv} > \beta_{smc}$ como mostrado na Figura 3 ou $\beta_{pv} < \beta_{smc}$ conforme ilustrado na Figura 4.

2.2 Validade do procedimento de cálculo

O procedimento de cálculo para a obtenção do índice de confiabilidade parabólico, através da Equação (17), funcionará quando forem utilizados os valores de ψ em conformidade com os critérios estabelecidos no item 2.3, sendo $\psi \neq 0$, e os métodos FORM e SORM (no caso em tela SORM Breitung e SORM Tvedt) apresentarem convergência para os valores dos seus respectivos índices de confiabilidade, β_F e β_S .

2.3 Determinação do valor de ψ

A determinação dos valores de ψ , que está baseada no sinal da soma das curvaturas principais (Σk_j), deve obedecer ao seguinte critério:

a) Quando $\Sigma k_j > 0$: utilizar o valor inicial de $\psi = 1$ ou -1 , com incrementos iguais à 1 ou -1 , respectivamente, até que seja obtido o valor de β_p maior ou igual ao maior valor entre o índice de confiabilidade (β_s) calculado pelo método SORM Breitung e o índice de confiabilidade calculado pelo método SORM Tvedt, obtendo assim o intervalo de convergência, ilustrado na Figura 5, onde $\beta_p \rightarrow \beta_{smc}$;

b) Quando $\Sigma k_j < 0$: utilizar o valor inicial de $\psi = 1$ ou -1 , com incrementos iguais à 1 ou -1 , respectivamente, até que seja obtido o valor de β_p maior ou igual ao menor valor entre o índice de confiabilidade (β_s) calculado pelo método SORM Breitung e o índice de confiabilidade calculado pelo método SORM Tvedt, obtendo assim o intervalo de convergência, ilustrado na Figura 5, onde $\beta_p \rightarrow \beta_{smc}$.

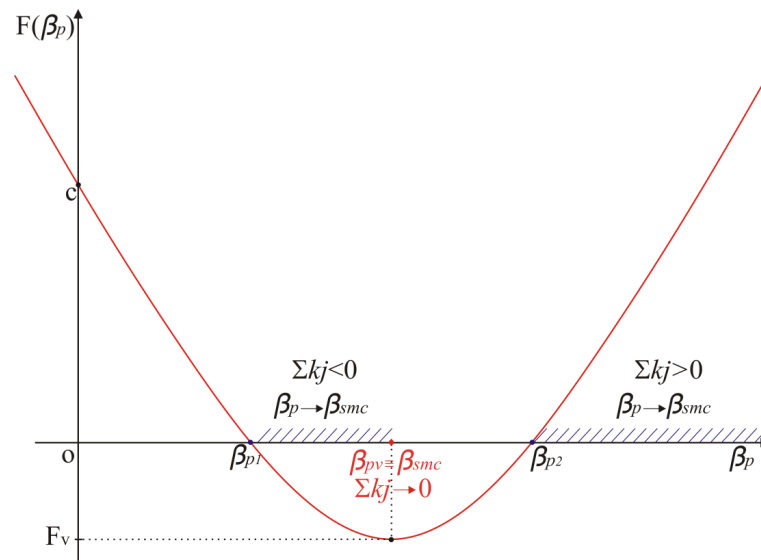


Figura 5: Gráfico ilustrando os intervalos de convergência de β_p , quando $\Sigma k_j > 0$ e $\Sigma k_j < 0$.

3 | RESULTADOS

Todos os exemplos foram calculados no ambiente MATLAB (Lee, 2018).

3.1 Exemplo 1

Esse exemplo foi analisado por Wu e Wirsching (1987) e utilizado na análise da fadiga de componentes em alta temperatura e baixo número de ciclos de carregamento.

A função de falha é expressa por

$$G(\mathbf{U}) = \Delta \cdot 10^4 \left[\frac{fpp}{R(Y\Delta\varepsilon)^{-1.71}} + \frac{1-fpp}{H(Y\Delta\varepsilon)^{-1.188}} \right], \quad (19)$$

onde,

$$\mathbf{U} = (\Delta, fpp, R, Y, H, \Delta\varepsilon). \quad (20)$$

As características das variáveis aleatórias (independentes) estão sumarizadas na Tabela 1 e os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 2, 3, 4 e 5.

Variável	Distribuição	Média (u.v.)*	Coefficiente de Variação (u.v.)*
Δ	Lognormal	1.0440	0.30
fpp	Normal	0.7000	0.10
R	Lognormal	0.2390	0.40
Y	Lognormal	1.0110	0.15
H	Lognormal	1.8020	0.40
$\Delta\varepsilon$	Gumbel	0.0005	0.16

Tabela 1: Características das variáveis aleatórias.

Nota: *u.v. = Unidade da Variável.

Variável	Δ	fpp	R	Y	H	$\Delta\varepsilon$
V^*_i	-1.2680	-0.6504	-0.2796	0.8220	0.9957	-1.3844

Tabela 2: Ponto de projeto (V^*_i) obtido via método FORM (HL-RF).

Nota: V^*_i = Coordenadas do ponto de projeto no espaço reduzido.

j	1	2	3	4	5	$\sum k_j$
k_j	-0.1593	0.1093	-0.0478	0.0000	0.0474	-0.0504

Tabela 3: Curvaturas principais da função de falha.

	FORM (HL-RF)	SORM Breitung	SORM Tvedt	β_p	SMC
i	5	-	-	-	-
β_F	2.385	-	-	-	-
P_f	8.54×10^{-3}	-	-	-	-
P_{fs}	-	9.70×10^{-3}	10.44×10^{-3}	10.12×10^{-3}	10.17×10^{-3}
β_S	-	2.338	2.310	2.322	2.320
ψ	-	-	-	1	-
NAF	35	21	21	-	10^5

Tabela 4: Resultados obtidos na análise da confiabilidade.

Nota: i =número de iterações; P_f =probabilidade de falha de primeira ordem; P_{fs} =probabilidade de falha de segunda ordem; β_F =índice de confiabilidade de primeira ordem; β_S =índice de confiabilidade equivalente ou de segunda ordem obtido via métodos SORM Breitung e método

SORM Tvedt; NAF=número de avaliações da função de falha;

Nota₂: Os valores de β_r e β_s (SORM) estão de acordo com Sagrilo (1994) e β_s (SMC) de acordo com Wu e Wirsching (1987).

Módulo dos erros relativos (%)	FORM (HL-RF)	SORM Breitung	SORM Tvedt	β_p
e	2.80	0.78	0.43	0.09

Tabela 5: Módulo dos erros relativos referentes ao índice de confiabilidade da SMC.

3.2. Exemplo 2

O exemplo abaixo consiste em uma função de falha utilizada por Zhao e Ono (1999), num artigo sobre um procedimento geral para utilização dos métodos de confiabilidade (FORM/SORM), sendo

$$G(\mathbf{U}) = X_1 + 2X_2 + 2X_3 + X_4 - 5X_5 - 5X_6 \quad (21)$$

onde

$$\mathbf{U} = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6). \quad (22)$$

As características das variáveis aleatórias (independentes) estão sumarizadas na Tabela 6 e os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 7, 8, 9 e 10.

Variável	Distribuição	Média(u.v.)*	Desvio Padrão (u.v.) *
X_1	Lognormal	120	12
X_2	Lognormal	120	12
X_3	Lognormal	120	12
X_4	Lognormal	120	12
X_5	Lognormal	50	15
X_6	Lognormal	40	12

Tabela 6: Características das variáveis aleatórias.

Nota: *u.v. = Unidade da Variável.

Variável	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
V^*_i	-0.1810	-0.3557	-0.3557	-0.1810	1.8998	1.2594

Tabela 7: Ponto de projeto (V^*_i) obtido via método FORM (HL-RF).

Nota: V^*_i = Coordenadas do ponto de projeto no espaço reduzido.

j	1	2	3	4	5	Σk_j
k_j	-0.2073	0.0018	0.0077	0.0104	0.0151	-0.1723

Tabela 8: Curvaturas principais da função de falha.

	FORM (HL-RF)	SORM Breitung	SORM Tvedt	β_p	SMC
i	14	-	-	-	-
β_F	2.348	-	-	-	-
P_f	0.94×10^{-2}	-	-	-	-
P_{fs}	-	1.25×10^{-2}	1.33×10^{-2}	1.25×10^{-2}	1.22×10^{-2}
β_S	-	2.240	2.216	2.240	2.250
ψ	-	-	-	2	-
NAF	98	21	21	-	10^4

Tabela 9: Resultados obtidos na análise da confiabilidade.

Nota₁: i =número de iterações; P_f =probabilidade de falha de primeira ordem; P_{fs} =probabilidade de falha de segunda ordem; β_F =índice de confiabilidade de primeira ordem; β_S =índice de confiabilidade equivalente ou de segunda ordem obtido via métodos SORM Breitung e método

SORM Tvedt; NAF=número de avaliações da função de falha;

Nota₂: Os valores de $\beta_F=2.348$ e $\beta_S(\text{SORM})=2.273$ de acordo com Zhao e Ono (1999), sendo o valor exato de $\beta_S=2.254$, segundo Der Kiureghian et al.(1987).

Módulo dos erros relativos (%)	FORM (HL-RF)	SORM Breitung	SORM Tvedt	β_p
e	4.36	0.44	1.51	0.44

Tabela 10: Módulo dos erros relativos referentes ao índice de confiabilidade da SMC.

3.3 Exemplo 3

Esse exemplo, obtido de Maes et al. (1993) consiste numa função de falha, cujo estado limite é representado por

$$G(\mathbf{U}) = 3.5 - X_1 + 0.5[\cosh(X_2) - 1], \quad (23)$$

onde

$$\mathbf{U} = (X_1, X_2). \quad (24)$$

As características das variáveis aleatórias (independentes) estão sumarizadas na Tabela 11 e os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 12, 13, 14 e 15.

Variável	Distribuição	Média(u.v.)*	Desvio Padrão(u.v.)*
X_1	Normal Padrão	0	1
X_2	Normal Padrão	0	1

Tabela 11: Características das variáveis aleatórias.

Nota: *u.v. = Unidade da Variável.

Variável	X_1	X_2
V_i^*	3.5000	0.0000

Tabela 12: Ponto de projeto (V_i^*) obtido via método FORM (HL-RF).

Nota: V_i^* = Coordenadas do ponto de projeto no espaço reduzido.

j	1	Σk_j
k_j	0.5000	0.5000

Tabela 13: Curvaturas principais da função de falha.

	FORM (HL-RF)	SORM Breitung	SORM Tvedt	β_p	SMC
i	1	-	-	-	-
β_F	3.500	-	-	-	-
P_f	2.33×10^{-4}	-	-	-	-
P_{fs}	-	1.40×10^{-4}	1.36×10^{-4}	1.29×10^{-4}	1.32×10^{-4}
β_S	-	3.633	3.641	3.654	3.649
ψ	-	-	-	3	-
NAF	3	3	3	-	10^6

Tabela 14: Resultados obtidos na análise de confiabilidade.

Nota₁: i =número de iterações; P_f =probabilidade de falha de primeira ordem; P_{fs} =probabilidade de falha de segunda ordem; β_F =índice de confiabilidade de primeira ordem; β_S =índice de confiabilidade equivalente ou de segunda ordem obtido via métodos SORM Breitung e método

SORM Tvedt; NAF=número de avaliações da função de falha;

Nota₂: Os valores de β_F , β_S (SORM) e k_j estão de acordo com Maes et al. (1993).

Módulo dos erros relativos (%)	FORM (HL-RF)	SORM Breitung	SORM Tvedt	β_p
e	4.08	0.43	0.22	0.14

Tabela 15: Módulo dos erros relativos referentes ao índice de confiabilidade da SMC.

3.4 Exemplo 4

Nesse exemplo, obtido de Der Kiureghian e De Stefano (1990), é apresentada a superfície de falha de um hiperparabolóide, composta pelo seu índice de confiabilidade β e as suas curvaturas principais k_j , sendo o estado limite representado por

$$G(\mathbf{U}) = \beta + 0.5 \sum_{i=1}^9 k_i X_i^2 - X_{10}, \quad (25)$$

onde $\beta=3$, $k_1=0.30$, $k_2=0.29$, $k_3=0.28$, $k_4=0.27$, $k_5=0.26$, $k_6=0.25$, $k_7=0.24$, $k_8=0.23$

e $k_g=0.22$, de acordo com Der Kiureghian e De Stefano (1990).

$$\mathbf{U} = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}). \quad (26)$$

As características das variáveis aleatórias (independentes) estão sumarizadas na Tabela 16 e os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 17, 18, 19 e 20.

Variável	Distribuição	Média (u.v.) [*]	Desvio Padrão(u.v.) [*]
X_1	Normal Padrão	0	1
X_2	Normal Padrão	0	1
X_3	Normal Padrão	0	1
X_4	Normal Padrão	0	1
X_5	Normal Padrão	0	1
X_6	Normal Padrão	0	1
X_7	Normal Padrão	0	1
X_8	Normal Padrão	0	1
X_9	Normal Padrão	0	1
X_{10}	Normal Padrão	0	1

Tabela 16: Características das variáveis aleatórias.

Nota: ^{*}u.v. = Unidade da Variável.

Variável	V_i^*	α^*
X_1	0.0000	0.0000
X_2	0.0000	0.0000
X_3	0.0000	0.0000
X_4	0.0000	0.0000
X_5	0.0000	0.0000
X_6	0.0000	0.0000
X_7	0.0000	0.0000
X_8	0.0000	0.0000
X_9	0.0000	0.0000
X_{10}	3.0000	-1.0000

Tabela 17: Resultados obtidos via método FORM (HL-RF).

j	K_j
1	0.30
2	0.29
3	0.28
4	0.27
5	0.26
6	0.25
7	0.24
8	0.23
9	0.22
$\Sigma k_j = 2.34$	

Tabela 18: Curvaturas principais da função de falha.

	FORM (HL-RF)	SORM Breitung	SORM Tvedt	β_p	SMC
i	1	-	-	-	-
β_F	3.000	-	-	-	-
P_f	1.35×10^{-3}	-	-	-	-
P_{fs}	-	0.10×10^{-3}	0.09×10^{-3}	0.08×10^{-3}	0.08×10^{-3}
β_S	-	3.716	3.756	3.768	3.764
ψ	-	-	-	3	-
NAF	11	55	55	-	10^5

Tabela 19: Resultados obtidos na análise de confiabilidade.

Nota₁: i =número de iterações; P_f =probabilidade de falha de primeira ordem; P_{fs} =probabilidade de falha de segunda ordem; β_F =índice de confiabilidade de primeira ordem; β_S =índice de confiabilidade equivalente ou de segunda ordem obtido via métodos SORM Breitung e método

SORM Tvedt; NAF=número de avaliações da função de falha;

Nota₂: Os valores de β_F , β_S (SORM) e k_j estão de acordo com Der Kiureghian e De Stefano (1990).

Módulo dos erros relativos (%)	FORM (HL-RF)	SORM Breitung	SORM Tvedt	β_p
e	20.30	1.28	0.21	0.11

Tabela 20: Módulo dos erros relativos referentes ao índice de confiabilidade da SMC.

4 | CONCLUSÕES

A Tabela 21 representa a síntese dos melhores resultados obtidos, para o índice de confiabilidade de segunda ordem (β_S) calculado através do método SORM Breitung

ou SORM Tvedt e, também, os resultados fornecidos pelo índice de confiabilidade parabólico (β_p).

EXEMPLO	SORM*		β_p **		SMC	Maior Eficácia
	β_s	e (%)	β_p	e (%)		
1	2.310	0.43	2.322	0.09	2.320	**
2	2.240	0.44	2.240	0.44	2.250	Ambos
3	3.641	0.22	3.654	0.14	3.649	**
4	3.756	0.21	3.768	0.11	3.764	**

Tabela 21: Comparação dos melhores resultados (< e) obtidos na análise de confiabilidade estrutural via método SORM Breitung ou SORM Tvedt com os resultados fornecidos pelo β_p , quanto à eficácia.

Nota: e = Módulo dos erros relativos referentes ao índice de confiabilidade fornecido via SMC.

Analisando os dados apresentados na Tabela 21, verifica-se que foi realizada a análise de confiabilidade estrutural de quatro funções de falha e, quanto ao quesito maior eficácia, em relação à Simulação Monte Carlo, ocorreu um resultado igual (Exemplo 2) entre os dois processos de cálculo e três resultados (Exemplos 1, 3 e 4), cujos índices de confiabilidade parabólicos melhoraram os resultados fornecidos pelo método SORM.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PROPEC) da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), à FAPES, à FAPEMIG e ao CNPq pela colaboração no desenvolvimento desse trabalho.

REFERÊNCIAS

BREITUNG, K. Asymptotic approximations for multinormal integrals. **Journal of Engineering Mechanics (ASME)**, v. 110, n. 3, p. 357, 1984.

CIZELJ, L.; MAVKO B.; RIESCH-OPPERMANN, H. Application of first and second order reliability methods in the safety assessment of cracked steam generator tubing. **Nuclear Engineering and Design**, v.147, p. 1-10, 1994.

DER KIUREGHIAN, A.; De Stefano, M. **An efficient algorithm for second-order reliability analysis**. Berkeley: Department of Civil Engineering/ University of California. Report n° UCB/SEMM - 90/20, 1990.

DER KIUREGHIAN, A.; LIN, H. Z.; HWANG, S. J. Second-order reliability approximations. **Journal of Engineering Mechanics, ASCE**, 1987; 113 (8): 1208 – 25.

FERREIRA, E. G., **Análise de confiabilidade estrutural via método SORM DG**, 2015. 212 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – UFOP, Ouro Preto – MG, 2015.

LEE, H. H. Programming and engineering computing with MATLAB 2018. USA: SDC Publications, 2018.

LEE, S.Y.; CASTANIER, M. P.; PIERRE, C. Assessment of Probabilistic Methods for Mistuned Bladed Disk Vibration. **46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics & Materials Conference**, 18-21 April, Austin, Texas, 2005.

MADSEN, H.O.; KRENK, S.; LIND, N.C. **Methods of Structural Safety**, New Jersey: Prentice Hall, Englewoods Cliffs, 2006.

MAES, M.A.; BREITUNG, K.; DUPPUIS, D.J. Asymptotic importance sampling. **Structural Safety**, Amsterdam, v. 12, p.167-186, 1993.

ROJAS, K.E. **Méthodologie d'Analyse de Fiabilité Basée sur des Techniques Heuristiques d'Optimisation et Madèles sans Maillage: Applications aux Systèmes Mécaniques**. Tese de Doutorado, INSA de Rouen, 2008.

SAGRILO, L.V.S. **Análise da confiabilidade estrutural utilizando os métodos analíticos FORM e SORM**, 1994. 138 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1994.

TVEDT, L. Distribution of quadratic forms in normal space - application to structural reliability. **Journal of Engineering Mechanics (ASME)**, Amsterdam, v. 116, n. 6, p. 1183-1197, 1990.

WU, Y.T.; WIRSCHING, P.H. New algorithm for structural for reliability estimation. **Journal of Engineering Mechanics (ASME)**, Amsterdam, v. 113, n. 9, p. 1319-1336, 1987.

ZHAO, Y.; ONO, T. A general procedure for first/second-order reliability method (FORM/SORM). **Structural Safety**, Amsterdam, v. 21, p.95-112, 1999.

RE-EVALUATION OF THE INFLUENCE OF TEMPERATURE AND TOTAL ACID NUMBER ON NAPHTHENIC CORROSION BY ELECTROCHEMICAL NOISE TECHNIQUE

Ana Carolina Tedeschi Gomes Abrantes

International University Center UNINTER,
Polytechnic Superior School
Curitiba - PR

Alysson Nunes Diógenes

Positivo University, Mechanical Engineering
Department
Curitiba - PR

Haroldo de Araújo Ponte

Federal University of Paraná, Chemical
Engineering Department
Curitiba - PR

ABSTRACT: The control of corrosion by naphthenic acids is one of the biggest challenges of the refineries that process viscous oil. This corrosion process, which mainly affects the circuits of elevated temperatures, can cause rapid mass loss and hardware failures. Its monitoring enables the evaluation of the effectiveness of a corrosion control program and the establishment of operational limits. Among the used techniques, there is the monitoring of the composition of the streams of crude oil and the measurement of corrosion rate (mass loss coupons, electrical resistance, ultrasound, etc.). Many researches have been developed aiming both information on critical operating parameters and new methods of monitoring, but there are few options that provide online

predictive and proactive control of the corrosive process. This research proposes the use of the use of Electrochemical Noise technique as an evaluation tool control parameters and monitoring corrosion by naphthenic acids in critical process conditions. ASTM A335 P5 material was evaluated in oily media with total acid numbers (NAT) of 2.5, 8.0 and 28.0 mgKOH/g at temperatures between 100 °C to 250 °C. It was observed that, under the studied conditions, the temperature is the predominant variable, inducing increased Reaction Charge with its increase. Moreover, the evaluation of Noise Resistance and Frequency of Events demonstrated that there is a predominance of general corrosion in milder temperatures, with an incidence of localized corrosion above 200 °C.

KEYWORDS: electrochemical noise, corrosion, naphthenic acids, petroleum refining.

1 | INTRODUCTION

A significant amount of heavy oil of low °API, 10-26 °API, (QING, 2010) has been processed in Brazilian refineries due to the existing reserves of this type of oil in our territory and in other regions of the world. The proportion of world production of this type of oil in relation to the total increased from 11% in 1995 to 14% in 2005 and has grown rapidly in recent years.

This oil is known as opportune due to its low market value, which is around 80% of the value of conventional oil (QING, 2010), with discounts of more than U\$ 10/bbl (LU, 2012; GRUBER *et al*, 2012). This devaluation is due to its high viscosity and high density, usually $> 930 \text{ kg/m}^3$ (GRUBER *et al*, 2012), in addition to the presence of contaminants such as metals, sulfur and naphthenic acids.

It is known that the sources of crude oil in South America, including Brazil, are among the most acidic crude oils in the world (GRUBER *et al*, 2012) and that its refining has caused severe damage to the equipment. This is mainly because most of the refineries are designed and built for the processing of oils with low levels of naphthenic acids and that currently process the oil due to its economic viability.

The control of corrosion by naphthenic acids is one of the major challenges of refineries processing opportune oils. This corrosive process, which mainly affects high temperature circuits in oil refineries (SLAVCHEVA *et al*, 1999), can lead to rapid mass loss and equipment failure (RECHTIEN, 2006). The most vulnerable unit to naphthenic corrosion is vacuum distillation, since the vacuum heavy Diesel oil tends to have a higher total acidity number. Other critical points are furnace pipes, curves, transfer lines, hulls and plates of the atmospheric distillation column (ALVISI and LINS, 2011; MOURA *et al.*, 2012). Possible effects are the loss of thickness in plates and downcomers, where vapor condensates with high acid concentrations, and on the walls of the columns where the condensate flows. Localized attack is also observed, especially in regions where there is poor formation of the iron sulphide film and at high velocity sites, resulting in the process known as corrosion-erosion.

The performance of the operating units and the reliability of the system can also be reduced if appropriate control strategies are not implemented (RECHTIEN, 2006). Thus, evaluation, mitigation and monitoring techniques must be used in order to control the corrosive process caused by naphthenic acids.

Although several works are being developed for a better understanding of the corrosion by naphthenic acids, their nature and the factors that control them have not yet been fully understood. This is due to the complexity and interrelationship of factors that affect corrosion and corrosion-erosion processes, such as total acid number (NAT), naphthenic acid activity, boiling point distribution and decomposition. The process control parameters, such as feed rate and operating temperature, as well as metal susceptibility to corrosion, also make it difficult to clarify how naphthenic corrosion acts for different types of oils (SPEIGHT, 2014).

The evaluation of the corrosive process and its monitoring in high resistivity media, such as desalted petroleum, $10^{13-16} \text{ ohm}\cdot\text{cm}$ (HASS *et al*, 2013), has been performed through mass loss coupons, solution analysis, galvanic current detection, measurement of electrical resistance and electrochemical measurements (TAN, 2011). In practice, electrochemical corrosion tests on high resistivity media present some challenges. The first one is related to the difficulties with the installation and removal of sensors in areas of difficult access, as well as their configuration and maintenance.

In addition, the auxiliary and reference electrodes maintain a significant potential drop due to the ohmic resistance of the solution and the distribution of non-uniform bias current that may cause uncertainties in the analysis data. The last challenge is related to the limitation of the electrochemical methods to simulate and to measure the localized corrosion, commonly found in high resistivity system.

The corrosion by naphthenic acids occurs predominantly in high oily resistivity oily medium. Regarding the evaluation of this corrosion process, several research methodologies have been presented, mainly based on laboratory tests with autoclaves or loops and on mass loss measurements (HAU *et al.*, 2003). This research proposes the application of the Electrochemical Noise (EN) technique for the monitoring of the naphthenic corrosion as an alternative to the evaluation and monitoring processes of the corrosive process in real time. This technique measures the spontaneous fluctuations in current and potential resulting from the charge transfer reactions (TAN, 2011; ABALLE *et al.*, 2001; AL-MAZEEDI and COTTIS, 2004; HASS *et al.*, 2013).

After the current and potential noise data acquisition, the methods of analysis are divided according to the dependence of the acquisition and recording sequence of the signals. Among the methods that are independent of the reading sequence of the data are the calculations of the statistical moments, such as the mean (first moment), the variance (second central moment) and the standard deviation. The standard deviation is the parameter most commonly used to describe the amplitude of the noise signal (COTTIS, 2001). In this method, it is possible to obtain the Noise Resistance (R_n) from potential and current fluctuations, being defined as the ratio of the standard deviations of potential (σ_E) and current (σ_I) fluctuations.

Al-Mazeedi and Cottis (2004) considered the current to be a series of statistically independent packets of charge, where each packet has a short duration. Under these conditions, three parameters can be obtained: the average corrosion current, I_{corr} ; The average charge of each event, q ; And the Frequency of Events, f_n . This results in a graph (Figure 1), where: a) high frequency and high resistance indicate generalized corrosion with protective film formation; b) high frequency and low resistance indicate generalized corrosion without protective film formation; c) low frequency indicates localized corrosion.

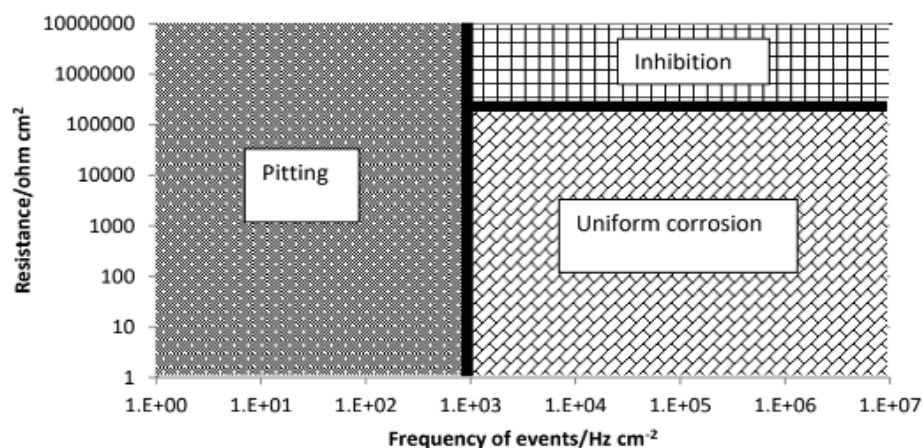


Figure 1 – Graphical representation for the methodology proposed by Al-Mazeedi and Cottis (2004).

Al-Mazeedi and Cottis (2004) methodology lack of an objective analysis, since the results are graphical do not affirm a threshold that can be used as a corrosion type classification. Therefore, aiming for a threshold result, in parallel, current noise was also analyzed through the Noise Reaction Charge (Q in C) involved in the corrosive process. The Noise Reaction Charge was obtained by integrating the curve of the current noise module (I) by time (t), representing the Noise Reaction Charge referring to the current fluctuation between the two working electrodes. Likewise, Corrosion rates were calculated using Faraday's Law.

2 | MATERIALS AND METHODS

For the development of this research, three variables (concentration of naphthenic acids, temperature and electrode material) were chosen.

The corrosive process of three mineral oil solutions with naphthenic acids, similar to the processed petroleum and its derivatives with higher corrosive potential, was evaluated: NAT=2.5 mgKOH/g, simulating stabilized petroleum; NAT=8.0 mgKOH/g, simulating naphthenic acid concentration derivatives; NAT=28.0 mgKOH/g, simulating condensation regions in distillation towers. The reaction media were obtained by adding naphthenic acids (commercial mixture of carboxylic acids alkyl-cyclopentanes) to the mineral oil (liquid vaseline), resulting in solutions with the previous quoted NAT for the three mediums. The NAT of the reactional mediums were confirmed using ASTM D974-08 with a variation of less than 0.5 mgKOH/g. The solutions were previously deaerated with nitrogen for 1 hour and heated at a rate of 75 °C/hour in an electrochemical reactor made from aluminum.

Data acquisitions were performed at temperatures of 100 °C, 150 °C, 200 °C and 250 °C, to comprehend the beginning of the critical range for naphthenic corrosion and the operation range of the equipment with naphthenic corrosion (ALVISI and LINS,

2011; GUTZEIT, 2006; BAGDASARIAN *et al.*, 1996). The pure mineral oil was also analyzed in these temperatures in order to obtain the reference of null corrosion by naphthenic acids under the studied conditions.

The main material evaluated as a working electrode was an ASTM A335 P5 low alloy steel, which is present in most refineries, presenting significant naphthenic acid corrosion rates. As reference, AISI 316 was used because it has a higher resistance to naphthenic corrosion.

Three cylindrical and solid electrodes were used for the acquisition of Electrochemical Noise data arranged as two working electrodes (ASTM A335 P5) and one reference electrode (AISI 316). The electrodes were polished with a 600 MESH sandpaper and degreased with alcoholic solution of potassium hydroxide (KOH). After these procedures, the electrodes were washed with distilled water, dried and connected to the corrosion probe.

The recording of electrochemical noise data was performed using a Gamry Instruments ZRA Reference 600 potentiostat/galvanostat. The frequency of operation used was of 500 Hz and the frequency of acquisition of the data was of 10 Hz. The data of current and potential noise were treated according to the methodology proposed by Al-Mazeedi and Cottis (2004), following the calculation of the Noise Reaction Charge.

3 | RESULTS AND DISCUSSION

Initially, the behavior of the ASTM A335 P5 material in pure mineral oil was evaluated in order to obtain a comparison parameter without naphthenic acidity, being called "white" (NAT=0,0 mgKOH/g). After obtaining the current and potential noise values, it was calculated the Noise Resistance and the Frequency of Events, generating the graph of Figure 2.

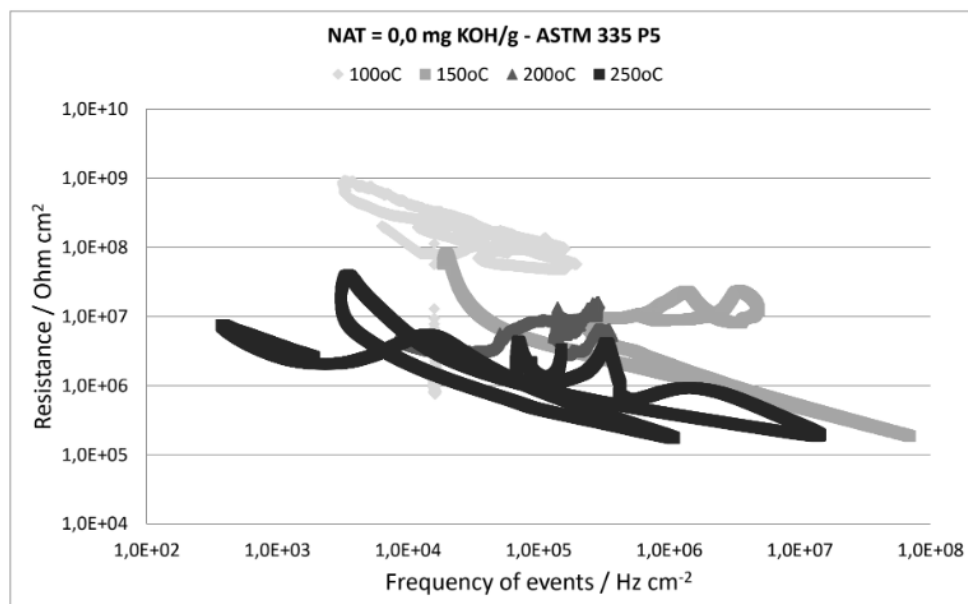


Figure 2 – Noise Resistance vs Frequency of events for ASTM A335 P5 in mineral oil.

According to the interpretation proposed by Al-Mazeedi and Cottis (2004), it is verified that the cluster of points presented a discrete displacement to values of greater Frequency of Events when increasing the temperature of the corrosive medium of 100 °C to 150 °C, indicating a greater tendency to generalized corrosion. For the higher temperatures, the displacement, still discrete, occurred for the region of lower frequency, indicating a greater possibility of occurrence of localized corrosion. However, since there are overlapping point clusters at all temperature conditions in relation to the Frequency of Events, it can be considered that the corrosion is generalized type for all conditions.

When evaluating the Noise Resistance, the experiment indicated reduction of the resistance as the temperature increases, demonstrating the transition from a region of passivation to that of generalized corrosion. During the process of surface treatment of the working electrodes and insertion in the corrosive medium, an oxide layer may have been formed on the surface of the electrodes due to exposure to oxygen from the air. This film was destroyed during the experiment, initiating the process of generalized corrosion without formation of protective film, because it is a medium with low concentration of oxygen.

The Figure 3 exposes the Noise Reaction Charges for ASTM A335 P5 steel in mineral oil. It is possible to observe that there is a gradual increase of the Noise Reaction Charge with as the temperature rises. This behavior was remarkable for the temperature of 250 °C. This indicates a greater intensity in the exchange of electrons between the working electrodes and, therefore, of possible corrosion reactions. This behavior was expected due to the mechanism of peroxidation that the mineral oils undergo when exposed to the heat, forming, among other compounds, acids that collaborate with the corrosive process (OMIDO, 2014).

Regarding the interpretation of the data for the evaluation of ASTM A335 P5 steel in media with NATs 2.5 and 8.0 mgKOH/g, it was observed that the results from the treatment proposed by Al-Mazeedi and Cottis (2004) were similar. The increase in temperature shifted the clusters, in the graph represented in Figure 4 (example), of a region of higher Noise Resistance and lower Event Frequency to another of lower resistance and higher frequency. This behavior demonstrates that at 100 °C temperature, the material still has low corrosive activity on its surface, possibly protected by a protective film of oxide formed during the preparation of the electrode. In addition, naphthenic acids are not as aggressive at this temperature.

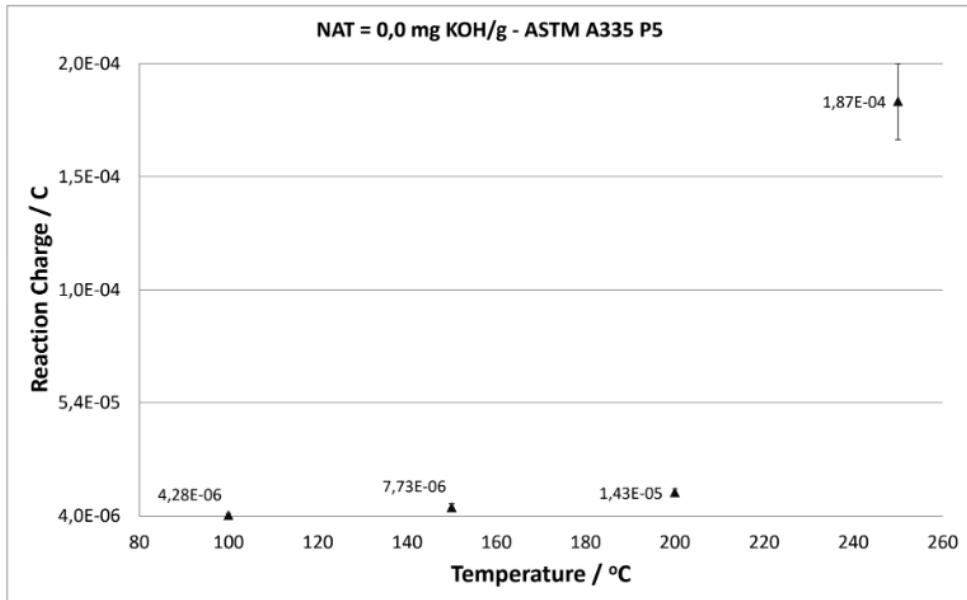


Figure 3 – Noise Reaction Charge for ASTM A335 P5 in mineral oil.

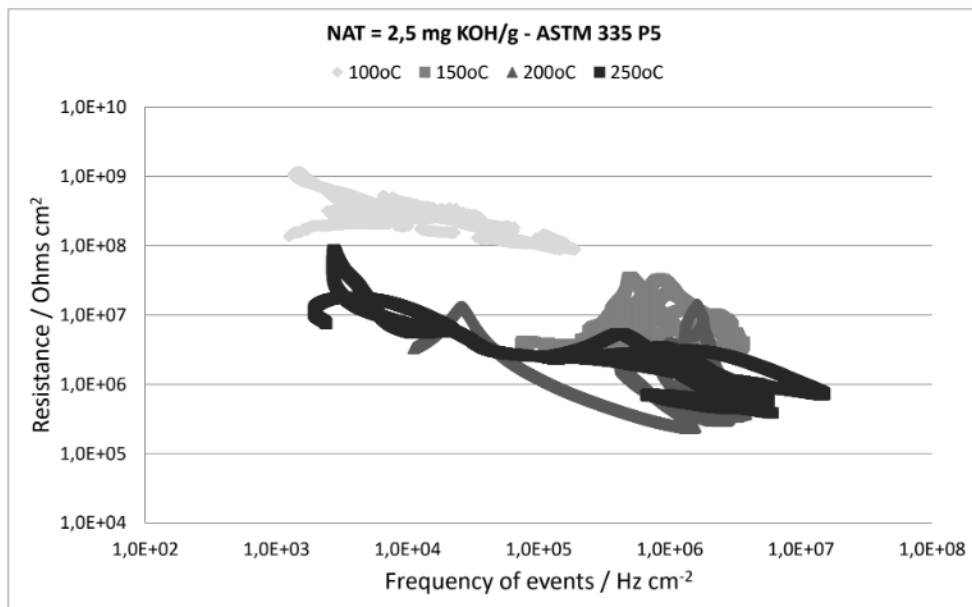


Figure 4 – Noise Resistance vs Frequency of Events for ASTM A335 P5 in solution with NAT 2.5 mgKOH/g.

As the temperature rises to 150 °C, the corrosive process becomes more evident and generalized, characterized by the increase of the Frequency of Events and the reduction of the Noise Resistance. This behavior is in accordance with the literature and with the practical observations for the material studied in non-flow medium, which describe the increase of the corrosion rate with the elevation of temperature and uniform appearance. Between 200 °C and 250 °C, the points shifted to both the region of localized corrosion and localized corrosion, moving to the lower frequency zone. This indicates a possible tendency to pits and alveoli corrosion in this condition, possibly due to the presence of acids.

For the electrolyte with NAT 28.0 mgKOH/g, the calculation of Noise Resistance and Event Frequency (Figure 5) resulted in clusters of points that were exposed for all the analyzed temperatures, demonstrating that the corrosive process is not modified in this situation. Comparing this result with those obtained for less acidic electrolytes, it is observed that the points are located in a region of lower frequency, that is, of localized corrosion.

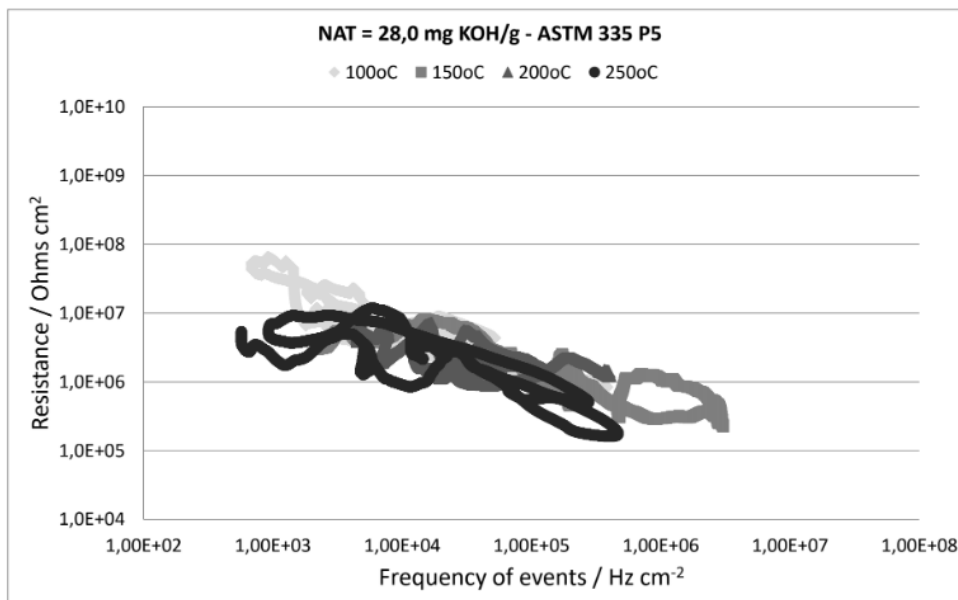


Figure 5 – Noise Resistance vs Frequency of Events for ASTM A335 P5 in solution with NAT 28 mgKOH/g.

For the evaluation of the intensity of the corrosive process, the Noise Reaction Charge involved in each temperature analyzed was calculated from the current noise curves of the experiments described and the values obtained are represented in Figure 6. For the temperatures of 100 °C and 150 °C, the obtained Noise Reaction Charges were in the order of 10^{-5} C, or lower, close to the values obtained for the experiments with pure mineral oil, demonstrating that the corrosive activity due to the presence of naphthenic acids at these temperatures is not significant in these conditions, as expected.

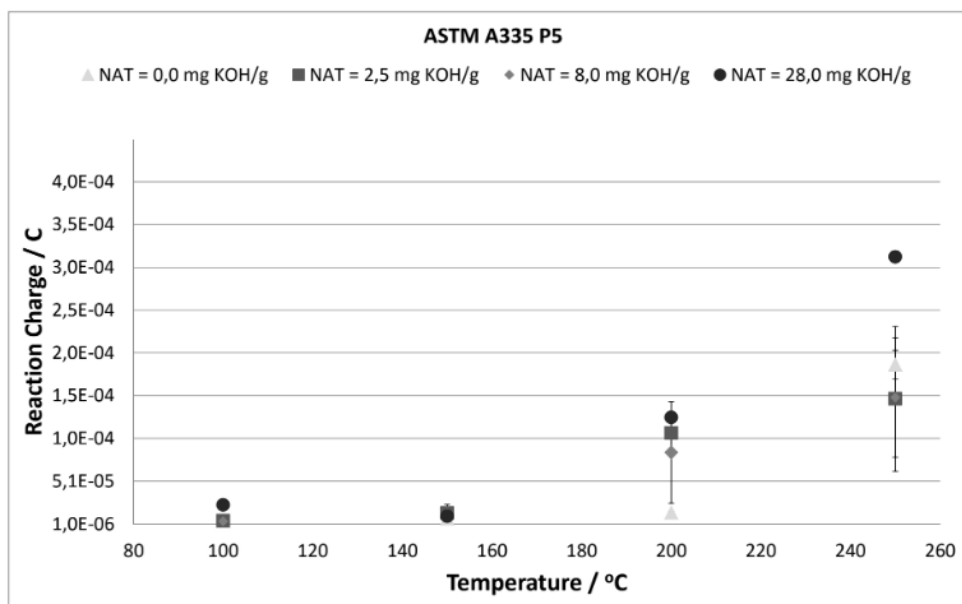


Figure 6 – Noise Reaction Charge for ASTM A335 P5 for the studied Temperatures and NAT.

For the acquisitions carried out at 200 °C temperature, it is possible to verify that the value of Noise Reaction Charge obtained for the pure mineral is almost two orders of magnitude lower than the charge values for the acid media, which indicates the detection of the corrosive activity of the naphthenic acids. However, it is not possible to differentiate the corrosion intensity between the different acid concentrations due to the standard deviation found between the experiments, especially in the higher temperatures. The same behavior is observed at 250 °C, where acid electrolytes equal to or less than 8.0 mgKOH/g showed similar Noise Reaction Charges. In these cases, it is understood that the predominant corrosive agents are the possible acidic compounds formed by the thermal degradation of the mineral oil. Only the electrolyte with NAT 28.0 mgKOH/g differs, which presented higher Noise Reaction Charge at this temperature, evidencing the corrosive effect of naphthenic acids.

4 | CONCLUSIONS

The electrochemical noise technique has been shown to be sensitive in the evaluation of the influence of control variables on naphthenic corrosion in oily media, especially temperature, considering the studied conditions.

The methodology proposed by Al-Mazeedi and Cottis (2004) for the analysis of the electrochemical noise data in the system studied provides information on the type of corrosion (localized or generalized), but it is not possible to quantify the aggressiveness of the corrosive process. In almost all the studied conditions, temperatures below 150 °C induce a generalized corrosion in the working electrodes, whereas above 200 °C the localized corrosive process already manifests itself in a significant way.

The proposed methodology for calculating the Noise Reaction Charge showed that it is possible to correlate the increase in corrosion intensity, proportional to the

corrosion rate, with the temperature. For temperatures below 150 °C there is no significant corrosion in the system studied, but the action of naphthenic acids is identified at temperatures above 200 °C. However, the same interpretation was not obtained when analyzing the influence of the different concentrations of naphthenic acids in the naphthenic corrosion due to the standard deviation obtained in the experiments. Considering the errors, all concentrations can induce the same value of Noise Reaction Charge in the studied conditions, except for the medium with NAT 28.0 mgKOH/g, which presented Noise Reaction Charge above the other conditions at 250 °C.

5 | ACKNOWLEDGEMENT

The authors are grateful to the PRH-24 Human Resources Program and Petrobras for the PhD funding, and to UFPR for the physical space and resources used.

REFERENCES

ABALLE, A.; *et al.* **Measurement of the Noise Resistance for Corrosion Applications.** Corrosion, vol. 57, n. 1, p. 35-42, 2001.

AL-MAZEEDI, H. A. A; COTTIS, R. A. **A practical evaluation of electrochemical noise parameters as indicators of corrosion type.** Electrochimica Acta, n. 49, p. 2787–2793, 2004.

ALVISI, P. P.; LINS, V. F. C. **An overview of naphthenic acid corrosion in a vacuum distillation plant.** Engineering Failure Analysis, n. 18, p. 1403–1406, 2011.

ASTM D974-08: **Standard Test Method for Acid and Base Number by Color-Indicator Titration.**

BAGDASARIAN, A; *et al.* **Crude unit corrosion and corrosion control.** National Association of Corrosion Engineers (NACE) annual corrosion conference and exposition: water and waste water industries, Denver, CO (United States), 24-29 Mar 1996.

COTTIS, R. A. **Interpretation of Electrochemical Noise Data.** Corrosion, v. 57, n. 3, p. 265-285, 2001.

DETTMAN, H. D.; *et al.* **The influence of naphthenic acid and sulphur compound structure on global crude corrosivity under vacuum distillation conditions.** NACE: Northern Area Western Conference, Calgary-Alberta, 2010.

GUTZEIT, J. **Crude Unit Corrosion Guide: A Complete How-To Manual.** 2nd edition, Process Corrosion Consultants, 2006, USA.

GRUBER, L. D. A.; *et al.* **Ácidos naftênicos no petróleo.** Química Nova, Vol. 35, No. 7, 1423-1433, 2012.

HASS, F.; *et al.* **Evaluation of Naphthenic Acidity Number and temperature on the corrosion behavior of stainless steels by using electrochemical noise technique.** Electrochimica Acta, v. 124, p. 206-210, 2013.

HAU, J. L.; *et al.* **Measuring naphthenic acid corrosion potential with the Fe powder test.** Revista de Metalurgia, Madrid, v. extra, p. 116-123, 2003.

LU, T. **Challenges in Opportunity Crude Processing.** Nalco. International Conference on "Refining Challenges & Way Forward", April 16-17, 2012, New Delhi.

MOURA, L. B.; *et al.* **Naphthenic Corrosion Resistance, Mechanical Properties and Microstructure Evolution of Experimental Cr-Mo Steels with High Mo Content.** Materials Research, n. 15, v. 2, p. 277-284, 2012.

OMIDO, A. R. **Monitoramento da degradação térmica de óleo mineral isolante de transformador utilizando espectroscopia de absorção e fluorescência UV-VIS.** Doctoral Thesis, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2014.

QING, W. **Processing high TAN crude: part I.** Petroleum Technology Quarterly, Q4, p. 35-43, 2010.

RECHTIEN, R. **Naphthenic acid corrosion control strategies.** In: AIChE – Chicago Symposium, 2006, Chicago. <http://www.aiche-chicago.org/symposium06/abstract.htm>, 23/01/2011.

SLAVCHEVA, E.; *et al.* **Review of naphthenic acid corrosion in oil refining.** British Corrosion Journal, v. 34, n. 2, p. 125-131, 1999.

SPEIGHT, J G. **High Acid Crudes.** 1st edition, GPP, Elsevier, 2014, USA.

TAN, Y. **Experimental methods designed for measuring corrosion in highly resistive and inhomogeneous media.** Corrosion Science, n. 53, p. 1145-1155, 2011.

SLOW-RELEASE FERTILIZER FROM A ROCK CONTAINING GLAUCONITE BY THERMAL PROCESSING WITH ADDITIVES

Antonio Clareti Pereira

Dr Chemical Engineering – Universidade Federal de Minas Gerais

Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Rua Guanabara, 491 – Concórdia. Code: 31110-650 Belo Horizonte MG - Brazil; claretipereira@gmail.com

Emily Mayer de Andrade Becheleni

Dr Chemical Engineering – Universidade Federal de Minas Gerais

Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG.
Av. Pres. Antonio Carlos, 6627 – Belo Horizonte – MG – Brazil – Code: 31270-901 – emabecheleni@gmail.com

Marta Ribeiro dos Santos Gomes

Dr Metallurgical Engineering - Researcher
Secretary of State for Economic Development, Science, Technology and Higher Education – SEDECTES

Sônia Denise Ferreira Rocha

Professor Chemical and Mining Engineering – Universidade Federal de Minas Gerais
Departamento de Engenharia de Minas- Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG
Av. Pres. Antonio Carlos, 6627 – Belo Horizonte – MG – Brazil – Code: 31270-901 – sdrocha@demin.ufmg.br

*Corresponding author: claretipereira@gmail.com

ABSTRACT: Glaucosite is a monoclinic mineral, of green color, a potassium and iron hydrated phyllosilicate. It is an alternative source of potassium, but still not being commercially exploited in a large scale for this purpose, due to the lack commercial technology that makes the business economically viable. This work investigated the dissolution of potassium in a solution of citric acid 2% (m/m) after thermal and chemical processing, with additives (CaCO_3 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), of a rock containing glaucosite at six temperatures: 660°C, 700°C, 740°C, 780°C, 820°C and 860°C, 60 minutes and granulometry smaller than 0.15mm. The mass ratio (rock, CaCO_3 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) was: (1.0: 0.2: 0.3). A rock containing glaucosite with a content of 11.9% K_2O and 58% glaucosite was selected. The potassium extraction was evaluated by extraction in 2% citric acid solution (m/m) at 95°C for 15 minutes and in water at 90°C. The solubility in water was 21% (770°C) and in citric acid the highest potassium extraction was 78% at the temperature of 770°C. The curve passes over a maximum (770°C), showing that there is a limit to the temperature in the thermal processing. Above this value, there is a drop in the extraction indicating different mechanism of reaction between the rock and additives. By considering that in water, the solubility of potassium was 4 times lower than in citric acid, it can be concluded that the thermal processing

makes Verdete ore a potential alternative source of potassium for the production of slow release fertilizer.

KEYWORDS: potassium; slow release fertilizer; thermal processing; glauconite.

1 | INTRODUCTION

Silicates constitute an important group of minerals in the soils, constituting about 40% of the common minerals. They make up more than 90% of the earth's crust and occur in both primary minerals, inherited from igneous or metamorphic rocks, and secondary minerals formed by the intemperance of primary mineral products. The possibility of the use of silicate rocks for the production of fertilizers is an important strategy, since they are well distributed in all regions of the world (Castro *et al.*, 2005; Almeida *et al.*, 2006; Theodoro *et al.*, 2006; Van Straaten, 2007; Martins *et al.*, 2010; Tchouankoue *et al.*, 2014).

Slow-release fertilizers use phyllosilicates as a potassium-providing raw material because of the low mobility of this potassium in water, dilute acids or weak organic acids. In order to increase the kinetics release of this potassium, several studies in this subject have been published (Tokunaga, 1991; Valarelli, 1993; Piza *et al.*, 2011, Orioli Jr & Coutinho, 2009; Mangrich *et al.*, 2001). Results obtained in these surveys indicate that rocks containing reasonable amounts of glauconite may constitute alternative sources of potassium for agricultural use. These researches were emphasized between the years of 1970 and 1980. Biotite, leucite, nepheline syenite, micaschists, potassium feldspar, chloriteschists, muscovite and Verdete were some of the evaluated materials (Lopes *et al.* 1972; Faquin, 1982; Leite, 1985).

One way to increase the availability of potassium is by promoting the modification of the mineral structure by thermal processing (Francisco *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2012; Van Straaten, 2007). Mazumder *et al.* (1993) Mazumder *et al.* (1993) investigated the dissolution of glauconite potassium in distilled water after thermal processing (between 700°C and 850°C) using a mixture of sandstone containing the mineral and calcium chloride, varying the calcination time between 5 and 180 minutes and granulometry from 300µm to 75µm. The leaching in distilled water was performed at a temperature ranging from 40°C to 90°C, achieving extractions greater than 90% from 10 minutes of leaching, for calcination at 850°C. To reach such extractions, the ratio was 1.0:0.5 sandstone and calcium chloride, in a calcination time of 60 minutes.

The objective of this work was the study of a rock containing glauconite (Verdete ore) as an alternative source of potassium for the production of a slow release fertilizer. More precisely, to evaluate the influence of the temperature on the thermal processing of the rock, with additives, on the solubility of potassium in a solution of citric acid 2% (m / m) and in water.

2 | MATERIAL AND METHOD

Chemical and mineralogical characterization

For chemical and mineralogical characterization, the samples were reduced into grain size suitable for analysis. Scanning electron microscopy (JEOL, JSM 35C and X-ray Dispersive Energy Spectrometer, NORAN, Voyager 3050 model) was applied to identify the mineral phases and their elements.

For the analysis of the crystalline components of the sample, X-ray diffractometer, Philips-PANalytical PW 1710 from the X-ray laboratory of the Department of Metallurgical Engineering and Materials of UFMG, was used with a voltage of 40mV, current of 20mA and angle of incidence ranging from 3° to 80°, with a variation of 0.05°. In the generated diffractograms, the diffraction peaks were indexed according to the standards presented in the ICDD database. For the analysis by ICP/OES, the preparation of the sample followed the procedures listed below:

- ✓ Lithium metaborate melting: the melting involved the complete dissolution of the sample in a molten flow;
- ✓ Optical Emission Spectrometry with Inductively Coupled Plasma Direct reading – ICP/OES: the equipment used in this work was the ICP/OES model Perkin Elmer Optima 7300DV.

Thermal Processing

The glauconite under study comes from rock (Verdete ore) containing this mineral that occurs in Serra da Saudade, in the region of the municipality of Cedro de Abaeté, state of Minas Gerais, Brazil. For the thermal processing, the system was considered: (rock+CaCO₃+MgCl₂·6H₂O), in the mass ratio (1.0: 0.2: 0.3).

By considering some conclusions of the study by Aitta et al (1986), the following particle size was adopted: 100% smaller than 0.15 mm for the sample subjected to thermal processing. To select the temperature, in thermal processing, simulations of the phase equilibrium were performed considering the input components. The simulations were performed in the application FactSage module Equilib. For the system (rock + CaCO₃ +MgCl₂·6H₂O), the phases likely to be formed are found in Table 2:

Temperature (°C)	800	850	900	950	1000
CO ₂	G	G	G	G	G
H ₂ O	G	G	G	G	G
HCl	G	G	G	G	G
KCl	L	L	L	G, L	G, L
K ₂ Cl ₂	-	-	-	-	G
Mg ₂ SiO ₄	S	S	S	S	S
KCaCl ₃	S	S	S	S	S
CaAl ₂ Si ₂ O ₈	S	S	S	S	S
MgOCaOSi ₂ O ₄	S	S	S	S	S
MgAl ₂ O ₄	S	S	S	S	S

Table 1: Phases in the glauconite/CaCO₃/MgCl₂.6H₂O system. G-Gas, L-Liquid and S-Solid.

Due to the appearance of KCl in the gas phases at temperatures above 950°C and the decrease of the KCaCl₃ solid phase above 900°C, the temperatures chosen were: 660°C, 700°C, 740°C, 780°C, 820°C and 860°C. The choice of CaCO₃ had the function of reducing the loss of HCl due to the decomposition of MgCl₂.6H₂O. The thermal processing was performed in a ceramic crucible (alumina) with an initial mass of 50g of rock, maintained in the temperature for 1h. The components of the mixture were PA reagents.

Extraction of the systems thermally processed in citric acid and water

The extraction of potassium in water was performed at 90°C, according to MAPA (Mapa, 2014).

For extraction in citric acid a 2% solution was prepared with 10 g of crystallized citric acid, monohydrate and analytical grade (Prolab) - C₆H₈O₇.H₂O - dissolved in distilled water. Then, the solution was transferred to a 500-mL volumetric flask and increased. Regarding the dissolution test, 0.1000g (for the 1: 500 ratio) of each product of the calcination reactions is weighed and added in 100mL beakers. After that, 50mL of the extracting solution was added and brought to the heating plate, maintaining the temperature of 95°C for 15 minutes without boiling. After heating, the solution was cooled, filtered through a 0.45-µm membrane and 25 mL of the filtrate were transferred to a 100-mL volumetric flask and increased (Mapa, 2014).

3 | RESULT AND DISCUSSION

Chemical and mineralogical characterizatón

The chemical composition of the sample was (Table 1):

Compound	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	SiO ₂
%	15.1	<0.03	6.7	11.9	3.0	0.0	62.2

Table 2: Chemical composition of Verdete sample used in the study.

The mineralogy of the sample is represented in the graph in the Figure 1.

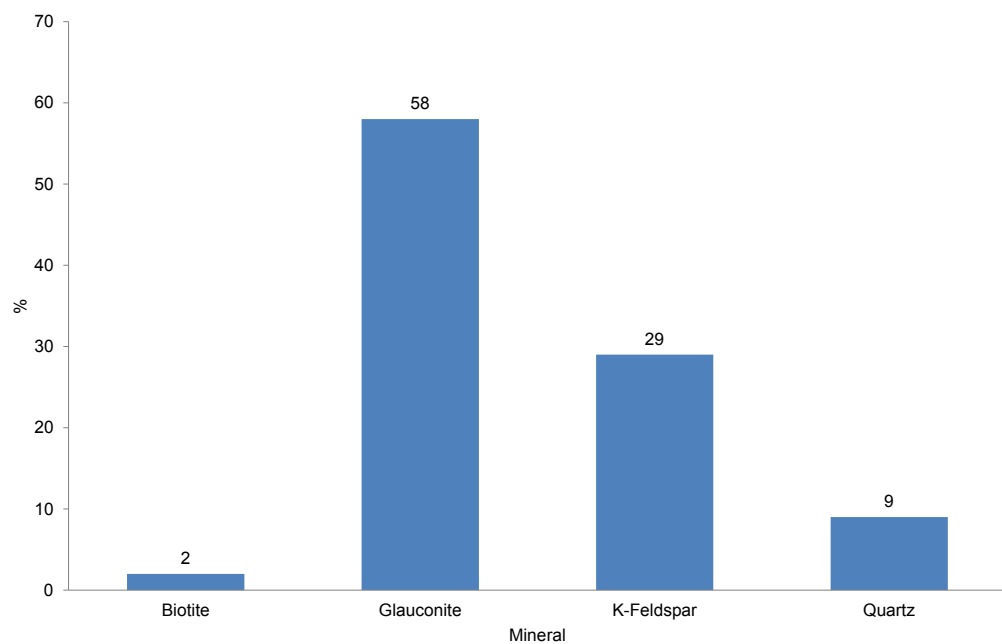


Figure 1: composition of Verdete sample used in the study.

Figure 1 represents the diffractogram of the Verdete rock with its main readings.

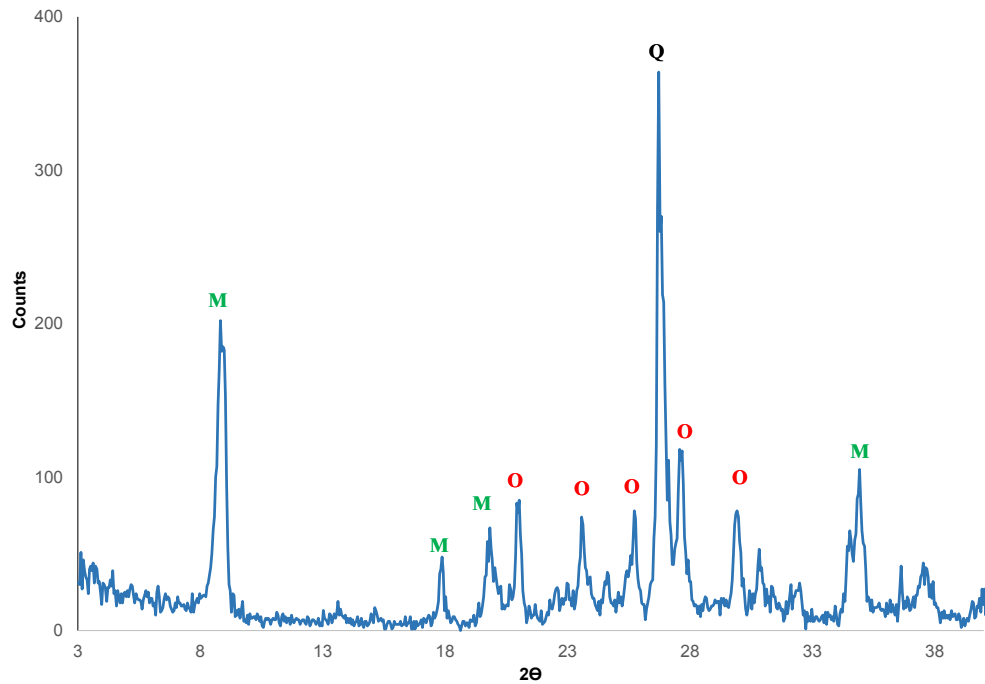


Figure 2: Diffractogram of Verdete ore: M – Mica, Q – Quartz, O– Orthoclase (K-Feldspar).

The images in the MEV (Figure 3) show a predominant matrix of a phyllosilicate of the Verdete rock.

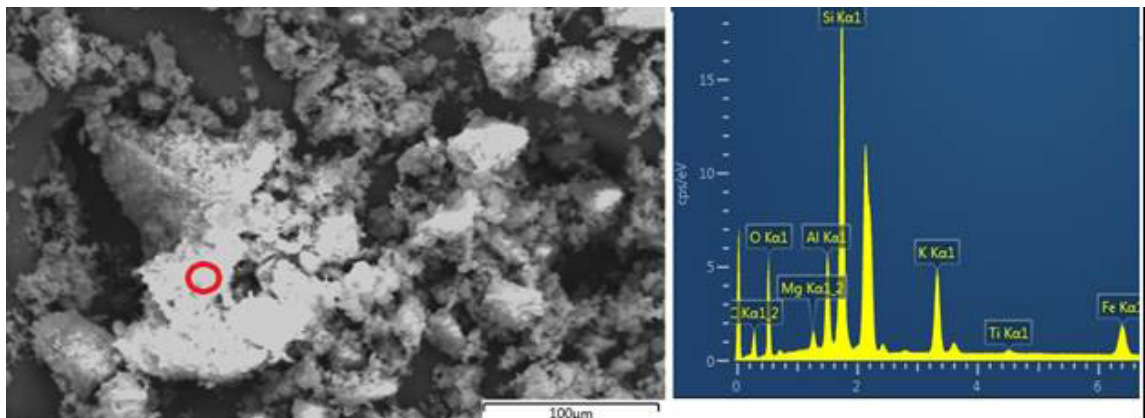


Figure 3: - Backscattered electron images of Verdete rock sample in Scanning Electron Microscope showing the predominance of a phyllosilicate matrix.

Thermal processing

The diffractogram of the heat-treated mixture at 780°C for 60 minutes is in Figure 4. The identified crystalline phases were: D - Diopside ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), M - Mica, O - Orthoclase (KAlSi_3O_8), Q - Quartz (SiO_2), S - Sylvite (KCl). The sylvite was formed by the displacement of the potassium of the structure of the glauconite by the chloride ion. At 780°C the residual mica is poorly identified, indicating almost complete transformation of this phase, considering that the detection limit of a XRD analysis is 5%. The formation of diopside, the phase rich in Ca and Mg, is further evidence of the unreacted ash-forming nucleus model which is the final inert phase.

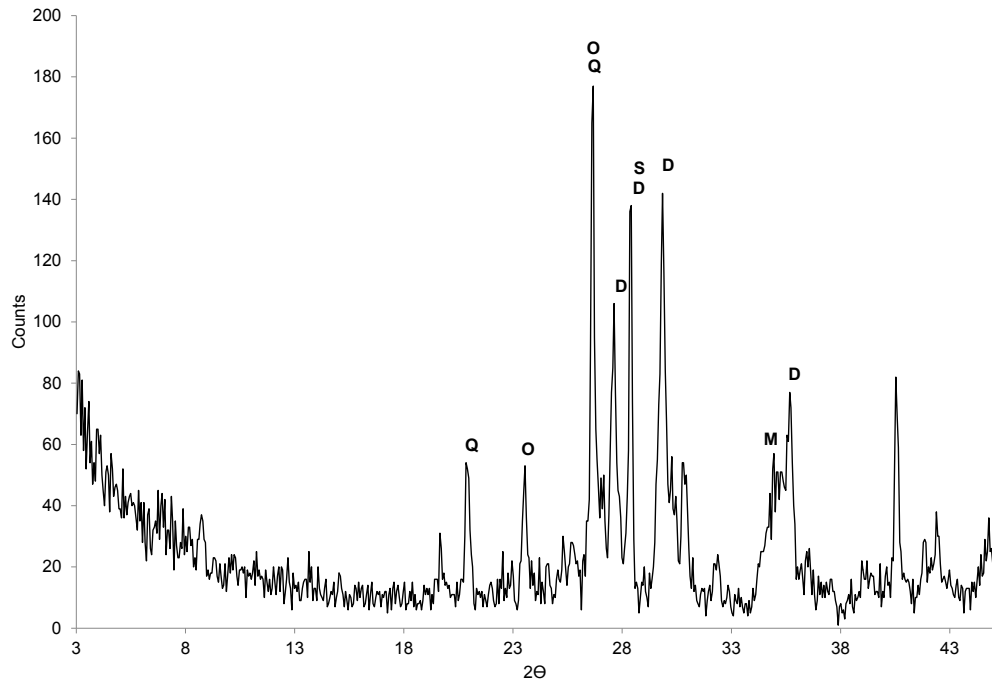


Figure 4: Sample diffractogram (mixture) at thermal treatment at 780°C. Identified phases: D – Diopside; M – Mica; O – Orthoclase; Q – Quartz; S - Sylvite.

Figure 5 represents SEM image and specific EDS analysis of the sample treated at 780°C revealing a crystalline structure containing phases rich in K and Cl. The image shows that the crystals begin to melt, corroborating with the melting point of pure KCl of 778°C.

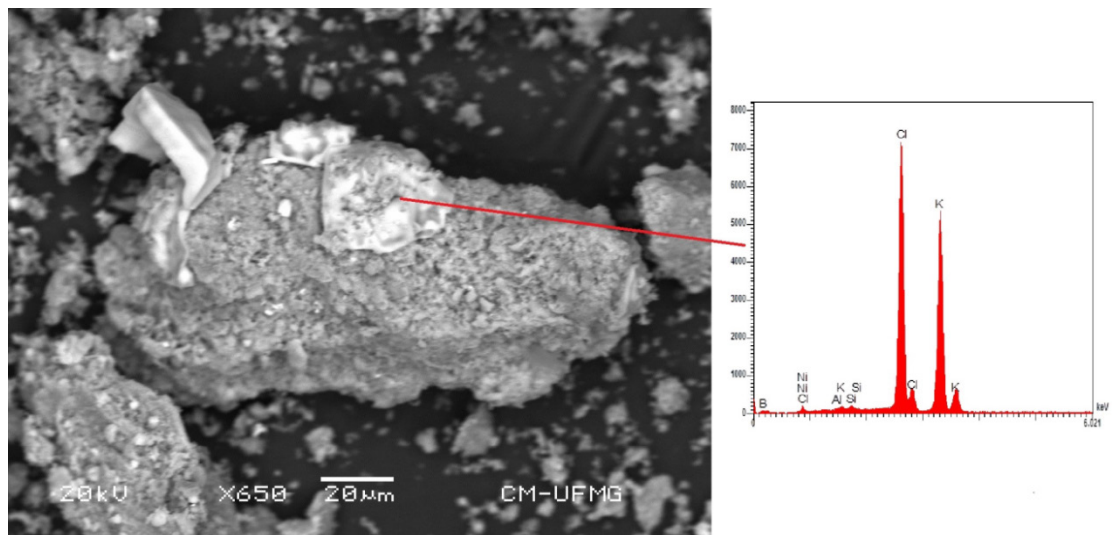


Figure 5: Image of SEM and EDS of a sample heated at 780°C, with addition of additives. EDS readings showing phases rich in K and Cl, with crystals in the melting process.

Extraction of the systems processed in citric acid

Figure 6 is the diffractogram of a sample after thermal treatment at 780°C (with additives) and after leaching with 2% citric acid solution. The identified crystalline phases were, as follow: D – Diopside; H-Hematite; M-Mica; O – Orthoclase; Q - Quartz. The increase in the crystallization of the hematite was most likely due to the

iron released from the glauconite structure. It is also observed that the mineral phases of diopside, product of the reaction in the thermal treatment, have low solubility in 2% citric acid. Other studies may determine a better condition to solubilize this compound as it is a source of calcium and magnesium. The Orthoclase that did not react in the thermal treatment phase, remains as a component with non-exchangeable potassium. The sylvite phases was completely vanished.

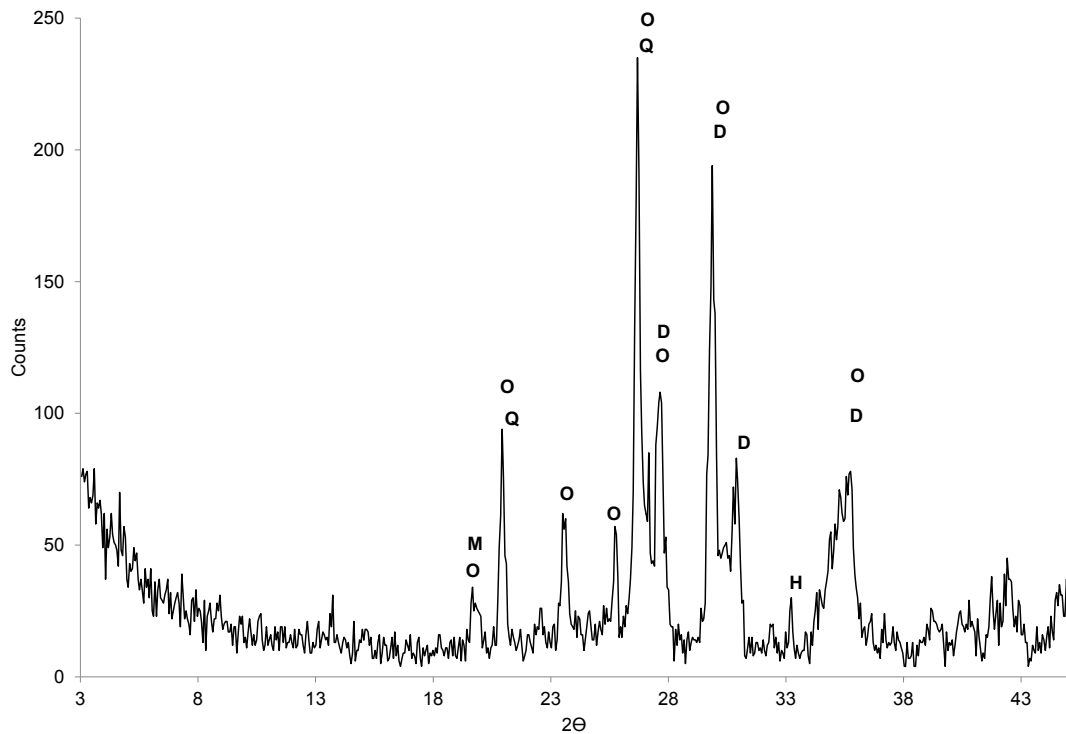


Figure 6: - Sample diffractogram after thermal treatment at 780°C (with additives) and leached with 2% citric acid solution. D – Diopside; H – Hematite; M – Mica; O – Orthoclase; Q – Quartz.

Figure 7 is SEM image and specific EDS analysis of the sample treated at 780°C and after solubilization in 2wt% citric acid solution. No phase rich in sylvite was identified, indicating total extraction of this phase by citric acid.

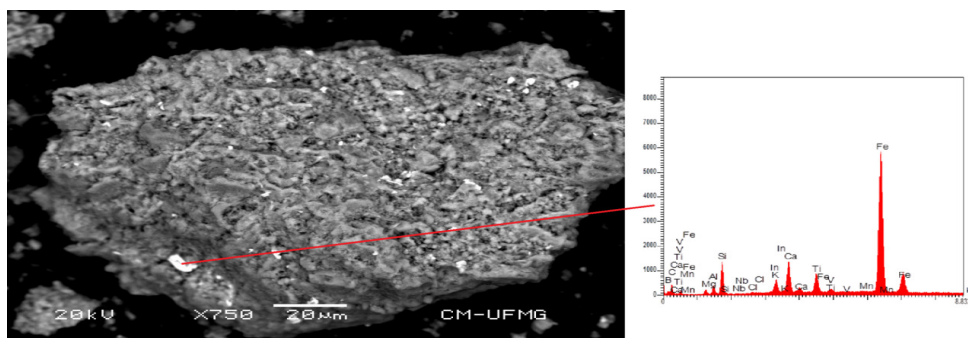


Figure 7: SEM and EDS images of the sample heated at 780°C, with the addition of additives and after leaching with 2% citric acid solution. EDS readings did not identify Sylvite-rich phases.

The graph in Figure 8 represents the extraction of potassium in citric acid after tests of the mixture (with additives) at several temperatures. The curve went through a maximum (around 770°C), showing that there was a limit to the temperature. Above this value, there was a decrease in the extraction, indicating that other secondary and irreversible reactions began to overlap the mixed control of the initial reaction (diffusion and chemistry).

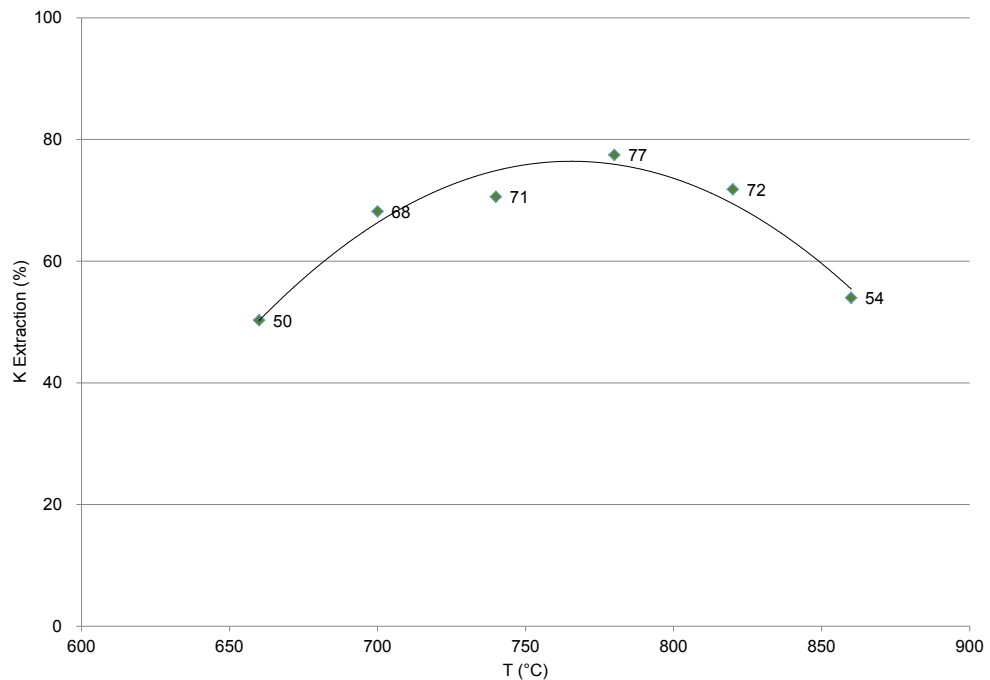


Figure 8: Potassium extraction in 2% citric acid solution (m/m).

4 | ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the financial support: Fapemig, CNPq and Capes that granted the execution of this research study.

5 | CONCLUSION

The thermal processing of the mixture (rock, CaCO_3 , $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) in the mass ratio of (1.0: 0.2, 0.3) was effective, resulting in the extraction of 78% of the potassium in a 2wt% citric acid solution. There was formation of sylvite (KCl) proving the displacement of potassium from the structure of phyllosilicates. After solubilization in citric acid, no sylvite phase was identified, both in the X-ray analysis and in SEM images and EDS, therefore, dissolved in the solution. The extraction increases with temperature, rising to a maximum (78%) at 770°C. Above this value, the potassium extraction decreases. Up to this maximum temperature, the system is governed by gas-

solid reaction, where gas is generated by the pyrohydrolysis of magnesium chloride. Above this temperature, other reactions with different mechanism begin to interfere, reducing the solubility of potassium in citric acid. The difference between the solubility of potassium in water, 21%, and the solubility in citric acid, 78%, makes glauconite a potential alternative source of potassium for the production of slow release fertilizer, when thermally processed using chlorine additive.

REFERENCES

- Aitta, E., Leskela, M., Lajunen, L.H.J., Jyrkas, K., Seppala, E. Thermal Processing /of Phlogopite and Muscovite with Calcium and Magnesium Compounds. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.36, p.169-177, 1986.
- Almeida, E.; Silva, F. J. P.; Ralisch, R. Powdered rock to revitalise soils. **Leisa Magazine**, v.22, n. 4, 2006.
- Castro, C.; Oliveira, F. A. e Salinet, L. H. 2005. **Rochas Brasileiras como fontes alternativas de potássio para uso em sistemas agropecuários – efeito residual**. In: Reunião Nacional de Pesquisa em Girassol, 16, Londrina, Anais. Londrina: Embrapa Soja. (CD-rom).
- Faquin, V. (1982) Efeito do tratamento térmico do sienito nefelínico adicionado de calcário dolomítico, na disponibilidade de potássio ao milho (*Zea mays* L.), em casa de vegetação. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 115p.
- Francisco, E.A.B.; Prochnow, L.I.; Toledo, M C M.; Ferrari, V.C.; Jesus, S.L. Thermal Treatment of Aluminous Phosphates of the Crandallite Group and Its Effect on Phosphorus Solubility. **Scientia Agricola**, v.64, n.3, p.269-274, 2007.
- Leite, P.C. (1985) Efeitos de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnesiano, na disponibilidade de potássio e fósforo. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras. 146p.
- Lopes, A.S.; Freire, J.C.; Aquino, L.H., Felipe, M.P. (1972) Contribuição ao estudo da rocha potássica - Verdete de Abaeté (Glauconita) para fins agrícolas. **Agros**, 2:3242.
- Mangrich, A., Tessaro, L., dos Anjos, A., Wypych, F., Soares, J. A slow-release K⁺ fertilizer from residues of the Brazilian oil-shale industry: synthesis of kalsilite-type structures. **Environmental geology**, v.40 n.8 p.1030-1036, 2001.
- Mapa. **Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretária de Defesa Agropecuária. Apoio Laboratorial; Murilo Carlos Muniz Veras (Org) Brasília – DF: MAPA/DAS/CGAL, 2014, 220p.
- Martins, E.S.; Oliveira, C.G.; Resende, A.V.; de Matos, M.S.F. **Agrominerais**: rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. In: ADÃO, B.L.; LINS, F. (Eds.). Rochas e minerais industriais: usos e especificações. 2ªed. Rio de Janeiro, Cetem, 2010, cap. 9, p.205-221.
- Mazumder, A.K., Sharma, T., Rao, T.C. Extraction of potassium from glauconitic sandstone by the roast-leach method. **International Journal of Mineral Processing**, v.38, p.111–123, 1993.
- Orioli Jr, V., Coutinho, E.L.M. “Effectiveness of Fused Magnesium Potassium Phosphate for Marandu Grass”. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33 pp. 1855-1862, 2009.
- Piza, P.A.T, Bertolino, L.C., Silva, A.A.S., Sampaio, J.A., Luz, A.B. Verdete da região de Cedro do Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio. **Geociências**, 30:345-356, 2011.

Silva, A.A.S., Medeiros, M.E.; Sampaio, J.A.; Garrido, F.M.S. Caracterização do Verdete de cedro do abaeté para o desenvolvimento de material com liberação controlada de potássio. **Holos**, Ano 28, v.5, 2012.

Tchouankoue, J.P; Tchekambou, A.N.T.; Abossolo, M.A.; Ngansop, C.; Theodoro, S.H. **Rock Fertilizers as an Alternative to Conventional Fertilizers**: the Use of Basalt From the Cameroon Volcanic Line for maize farming on Ferrallitic soils. In: Goreau, T.J.; Larson, R.W.; Campe, J. (eds.) *Geotherapy: Innovative Methods of Soil Fertility Restoration, Carbon Sequestration, and Reversing CO2 Increase*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 2014, p. 449-464.

Theodoro, S.H.; Othon, L.; Rocha, E.L.; Rego, K.G. Experiências de Uso de Rochas Silicáticas Como Nutrientes. **Espaço & Geografia**, v.09, n.2, p.263;292, 2006.

Tokunaga, Y. Potassium silicate: a slow-release potassium fertilizer. Kaihatsu Hiryo Co.2-1-13. 1991.

Valarelli. J.V. Ardósias Verdete de Cedro do Abaeté na Produção de Termofosfato Potássico Fundido e sua Eficiência Agronômica. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.31, p.363-375, 1993.

Van Straaten, P. *Agrogeology: the use of rocks for crops*. Ontario (Canadá): Enviroquest Ltd., 2007, 426p.

UMA INTRODUÇÃO AO USO DA INTEGRAL DE DUHAMEL EM SISTEMAS DINÂMICOS ESTRUTURAIS

Natan Sian das Neves

Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Espírito Santo, ES, Brasil.

RESUMO: O processo de ensino das disciplinas técnicas da grade curricular dos cursos de engenharias apresenta desafios na aprendizagem dos discentes, devido tais conteúdos usualmente exigirem um maior abstracionismo físico-matemático. Neste contexto, o vigente artigo busca apresentar os conceitos e principais sentenças matemáticas de problemas de sistemas vibratórios estruturais sob ação de forças não periódicas, visando melhorar a compreensão dos alunos que estão ingressando nos estudos na área da dinâmica estrutural. Neste cenário, seguindo a natureza introdutória do trabalho, os problemas estudados são analisados ao nível do domínio do tempo, devido trabalhar com variáveis reais, direcionando uma maior aceitação inicial dos estudantes. Para tanto, analise-se casos de vibrações em estruturas com um grau de liberdade e com múltiplos graus de liberdade. A escolha do uso da Integral de Duhamel para solução dos problemas é devido ser uma técnica intuitiva e simples de aplicação. Os procedimentos numéricos são desenvolvidos em ambiente MATLAB. Em síntese, os

resultados obtidos apresentaram uma resposta coerente fisicamente, apontando o desempenho satisfatório da técnica utilizada.

PALAVRAS-CHAVE: Dinâmica Estrutural. Integral de Duhamel. Ensino.

ABSTRACT: The process of teaching the technical disciplines of the curriculum of the engineering courses presents challenges in the learning of the students, because such contents usually demand a greater physical-mathematical abstractionism. In this context, the current article seeks to present the concepts and main mathematical sentences of problems of structural vibratory systems under the action of non - periodic forces, aiming to improve the understanding of the students who are entering the studies in the area of structural dynamics. In this scenario, following the introductory nature of the work, the studied problems are analyzed at the level of the time domain, due to work with real variables, directing a greater initial acceptance of the students. To do so, analyze cases of vibrations in structures with a degree of freedom and with multiple degrees of freedom. The choice of using Duhamel Integral to solve problems is due to be an intuitive and simple technique of application. The numerical procedures are developed in MATLAB environment. In summary, the results obtained presented a physically coherent response,

pointing out the satisfactory performance of the technique used.

KEYWORDS: Structural Dynamics. Integral of Duhamel. Teaching.

1 | INTRODUÇÃO

A seara das vibrações mecânicas contemplam inúmeras aplicações importantes na engenharia, percorrendo desde problemas estruturais em vigas, placas e construções de maior porte, como também em elementos de máquinas, tubulações e efeitos sísmicos e entre outras ramificações. Desta maneira, devido a gama de problemas físicos correlacionados com a dinâmica estrutural, a modelagem matemática de tais fenômenos torna-se uma tarefa complexa e requer uma base de conhecimentos primais como cálculo, física, mecânica e etc (Rao,2009).

Desta forma, devem-se propor alternativas para apresentar e fornecer os discentes uma base sólida dos conceitos fundamentais de dinâmica. Seguindo esta ideia, em geral os sistemas vibratórios usualmente são modelagem pelos princípios de movimentos de corpos, onde se pode ou não ter ações externas. É comum nas disciplinas de dinâmica, uma maior aceitação nos casos onde a ações externas são periódicas, pois a solução é devida uma superposição de efeitos, o que é uma tarefa relativamente simples. Contudo, ações não periódicas que atuam em certo intervalo de aplicação, tais problemas necessitam de técnicas particulares, o que começa a dificultar a compreensão por partes dos alunos. Direcionado por tal motivação, invés de aplicar técnicas como Método da transformada de Fourier ou Método passo-a-passo iterativas, utiliza-se o Método da integral de Duhamel devido à facilidade de aplicação, corroborando com o foco introdutório do trabalho (FERREIRA,2002).

2 | SISTEMA DINÂMICO DE UM GRAU DE LIBERDADE

Considere um sistema estrutural de um grau de liberdade sem amortecimento sujeita a uma ação externa qualquer , conforme é ilustrado na Figura 1.

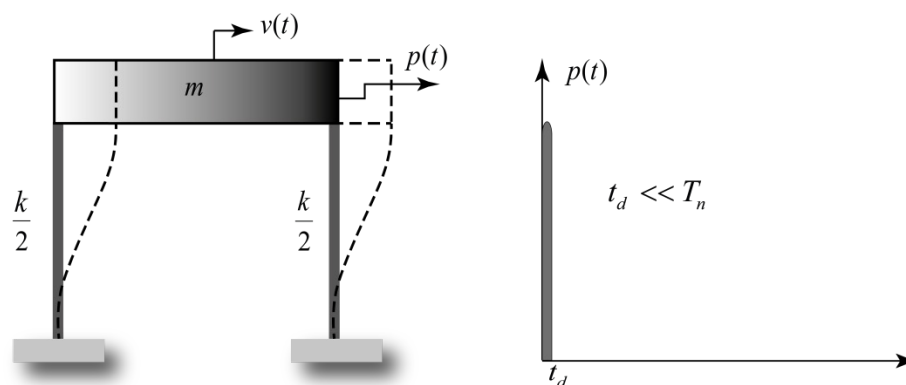


Figura 1. Representação do sistema estrutural simplificado

Fonte: Acervo Pessoal

A equação do movimento do problema físico em questão é oriunda da segunda lei de Newton, correlacionado com um balanço de forças associadas as forças inercias, externas e as forças proveniente da rigidez estrutural (CRAIG, 1981). Em específico, considerando a carga externa não periódica com caractere impulsiva delimitada pelo intervalo de aplicação da carga ($0 < t < t_d$). Então, pode-se escrever então a Equação (1).

$$m\ddot{v}(t) + kv(t) = \begin{cases} p(t), & 0 < t < t_d \\ 0, & t > t_d \end{cases} \quad (1)$$

Para o caso de vibração livre, onde não atua carga externa, o modelo matemático é válido somente no intervalo ($t > t_d$). A solução para este caso específico é conhecida na literatura (BLEDZIK et al., 1995) e é dado pela Equação (2).

$$v(t) = v_0 \cos(\omega t) + \left(\frac{\dot{v}_0}{\omega}\right) \sin(\omega t) \quad (2)$$

Onde $\omega = \sqrt{k/m}$ é conhecida como a frequência natural ou circular, t é o tempo e as condições iniciais são v_0 e \dot{v}_0 . Em sequência, o caso de vibração forçada, existe uma carga impulsiva no intervalo ($0 < t < t_d$). Integrando o modelo diferencial é possível escrever a expressão seguinte.

$$m\dot{v}(t) + kt_d v_{avg} = I \quad (3)$$

Em que, I é o impulso e v_{avg} é o deslocamento médio. Por definição, tais variáveis são dadas conforme a Equação (4).

$$I = \int_0^{t_d} p(t) dt \quad v_{avg} = \frac{1}{t_d} \int_0^{t_d} v(t) dt \quad (4)$$

Pela Equação (3) é possível extrair um resultado importante, fazendo o tempo de duração da carga tender a zero, pode-se escrever as seguintes condições, conforme expresso na Equação (5).

$$\dot{v}(0^+) = \frac{I}{m} \quad v(0^+) = 0 \quad (5)$$

Aplicando as condições expressas na Equação (5) na solução do modelo estrutural de vibração livre, expressa pela Equação (2), tem-se que:

$$v(t) = \left(\frac{I}{\omega m}\right) \sin(\omega t) \quad (6)$$

De forma análoga é possível demonstrar que a solução para o modelo estrutural com amortecimento é dado conforme a Equação (7).

$$v(t) = \left(\frac{I}{\omega m}\right) e^{-\xi \omega_D t} \sin(\omega t) \quad (7)$$

Onde ξ é a taxa de amortecimento e $\omega_D = \omega \sqrt{1 - \xi^2}$ é conhecido como frequência natural de amortecimento. Observe que a parcela exponencial faz a solução tender para zero.

Com a diretriz de buscar uma generalização de tais conceitos apresentados até o momento, considere uma carga externa qualquer, conforme ilustra a Figura 2.

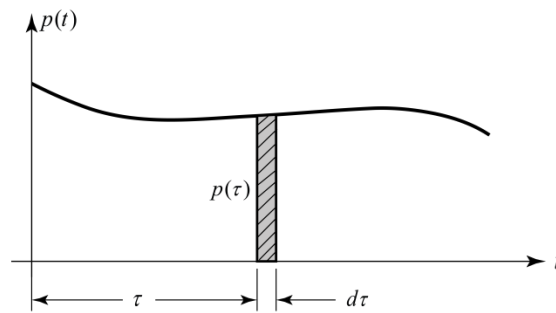


Figura 2. Ação dinâmica qualquer
Fonte: Acervo Pessoal.

Por analogia a Equação (6), é possível escrever com uma natureza infinitesimal que a resposta do deslocamento é dado pela Equação (8).

$$dv(t) = \left(\frac{dl}{\omega m}\right) \sin(\omega(t - \tau)) \quad (8)$$

Onde o impulso diferencial é $dl = p(\tau)d\tau$. Integrando a Equação (8) chega-se em uma expressão geral para o deslocamento em resposta a uma carga qualquer.

$$v(t) = \frac{1}{\omega m} \int_0^t p(\tau) \sin(\omega(t - \tau)) d\tau \quad (9)$$

Essa integral é usualmente conhecida como Integral de Duhamel e é usada para calcular a resposta de um sistema massa-mola submetida a uma carga arbitrária. De forma similar, levando em conta o amortecimento no sistema, pode-se escrever a solução conforme a Equação (10).

$$v(t) = \frac{1}{\omega_D m} \int_0^t p(\tau) e^{-\xi\omega(t-\tau)} \sin(\omega_D(t - \tau)) d\tau \quad (10)$$

É possível reescrever a solução via Integral de Duhamel de uma forma compacta. Para tanto, usa-se a seguinte propriedade trigonométrica básica da função seno e chega-se na Equação (11).

$$v(t) = [\bar{A}(t) \sin(\omega t) - \bar{B}(t) \cos(\omega t)] \quad (11)$$

Onde as constantes \bar{A} e \bar{B} são dadas pela Equação (12) e (13).

$$A(t) = \frac{1}{\omega_D m} \int_0^t p(\tau) \frac{e^{\xi\omega\tau}}{e^{\xi\omega t}} \cos(\omega_D\tau) d\tau \quad (12)$$

$$B(t) = \frac{1}{\omega m} \int_0^t p(\tau) \frac{e^{\xi\omega\tau}}{e^{\xi\omega t}} \sin(\omega_D\tau) d\tau \quad (13)$$

Note que quando a taxa de amortecimento for zero, as constantes recaem na solução do sistema dinâmico sem amortecimento. Em acréscimo, é importante ressaltar que para pequenos valores de taxa de amortecimento, pode-se considerar que $\omega = \omega_D$ (LAEYSSSEN et al., 2004). A solução do problema é direcionada pela determinação das constantes \bar{A} e \bar{B} , contudo, para avaliar analiticamente é necessário que a carga externa seja simples. Desta maneira, para tornar a solução geral, pode-se usar alguma técnica de integração numérica para a solução das integrais. Neste trabalho, usa-se a regra de Simpson o que permite escrever as constantes como sendo:

$$\frac{\bar{\alpha}_N}{F} = y_N + M_1 y_{N-1} + M_2 \left(y_{N-2} + \frac{\bar{\alpha}_{N-2}}{F} \right) \quad (14)$$

Onde α assume o papel das constantes \bar{A} ou \bar{B} e considera-se que $\alpha_0 = 0$ e a contagem $N = 2, 4, 6, \dots$ sendo que $F = \Delta\tau/3m\omega$. Ressalta-se ainda, que as constantes M_1 e M_2 são validas tanto para o caso sem ou com amortecimento, expressas sendo e $M_1 = 4e^{-\xi\omega\Delta\tau}$ e $M_2 = 1e^{-2\xi\omega\Delta\tau}$.

3 | SISTEMAS DINÂMICOS DE MÚLTIPLOS GRAUS DE LIBERDADES

Para as análises dos sistemas de múltiplos graus de liberdade (MGL) baseia-se nos princípios já apresentados anteriormente para sistema de um grau de liberdade, contudo com uma abordagem matricial. Neste contexto, inicia-se com o caso de um sistema sem amortecimento e nenhuma ação externa. A equação do movimento é expressa pela Equação (15).

$$\mathbf{m}\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{k}\mathbf{v} = \mathbf{0} \quad (15)$$

Em que \mathbf{m} e \mathbf{k} são conhecidas como as matrizes de massa e rigidez respectivamente.

A solução da Equação (15) requer a solução de um problema de autovalor.

$$(\mathbf{k} - \omega^2\mathbf{m})\mathbf{v} = \mathbf{0} \quad (16)$$

Os autovalores são determinando impondo que o determinante seja nulo, desta maneira, as frequências naturais do sistema estrutural são determinadas. Acrescenta-se ainda que a primeira frequência do sistema é usualmente chamada de frequência fundamental.

Consecutivamente, os autovetores são encontrados substituindo cada autovalor na Equação (16). Perceba que existe para cada autovalor, infinitos autovetores que satisfazem o problema de vibração livre. Desta maneira, por conveniência busca-se realizar uma normalização de tais vetores em relação a massa generalizada M_i (CRAIG, 1981). Tais propriedades generalizadas do sistema dinâmico respeitam as propriedades de ortogonalidade, o que permite escrever as condições expressas na

Equação (17).

$$M_i = \mathbf{v}_i^T \mathbf{m} \mathbf{v}_i \quad K_i = \mathbf{v}_i^T \mathbf{k} \mathbf{v}_i \quad (17)$$

Note que as propriedades generalizadas são grandezas escalares. A normalização em relação massa generalizada

$$\Phi = \frac{\mathbf{v}_i}{\sqrt{M_i}} \quad (18)$$

Devido tal normalização, é possível escrever que:

$$M_i = \Phi_i^T \mathbf{m} \Phi_i = 1 \quad K_i = \Phi_i^T \mathbf{k} \Phi_i = \omega_i^2 \quad (19)$$

Considere o sistema dinâmico de múltiplos de graus de liberdade sem amortecimento com força externa em função do tempo.

$$\mathbf{m}\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{k}\mathbf{v} = \mathbf{P}(t) \quad (20)$$

Para a solução da Equação (20), deve-se primeiramente, ter a solução previa das frequências naturais e os autovalores normalizados. A partir disso, é possível demonstrar que os autovalores são linearmente independentes e podem constituir uma “base” (BLEDZIK et al., 1995). Em outras palavras, pode-se escrever um deslocamento qualquer como sendo uma combinação linear de tais vetores, como expresso pela Equação (21).

$$\mathbf{v} = \Phi_1 Y_1 + \Phi_2 Y_2 \dots + \Phi_n Y_n = \sum_{i=1}^n \Phi_i Y_i = \Phi Y \quad (21)$$

Derivando a Equação (21) e substituindo na equação do movimento, tem-se:

$$\Phi_i^T \mathbf{m} \Phi_i \ddot{Y}_i + \Phi_i^T \mathbf{k} \Phi_i Y_i = \Phi_i^T \mathbf{P}(t) \quad (22)$$

Usando os resultados encontrados na Equação (19) e aplicando na Equação (22), pode-se escrever o seguinte sistema linear.

$$\ddot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = P_i(t) \quad (23)$$

Onde $P_i = \Phi_i^T \mathbf{P}(t)$ é denotado como vetor de carga generalizado. Tal procedimento realizado é conhecido como Método da superposição modal, onde parte-se de um modelo matricial acoplado e chega-se em um sistema desacoplado de N grau de liberdade (WILLIAM; MARIE, 1998). Para o sistema de múltiplos de graus de liberdade com amortecimento e sujeita a uma força externa, tem-se que a equação de movimento é:

$$\mathbf{m}\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{c}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{k}\mathbf{v} = \mathbf{P}(t) \quad (24)$$

Onde \mathbf{c} é a matriz de amortecimento do sistema e pode ser determinada pelo modelo combinado entre a matriz de rigidez e massa, conforme apresenta na Equação (25).

$$\mathbf{c} = a_0 \mathbf{m} + a_1 \mathbf{k} \quad (25)$$

Tal matriz de amortecimento respeita a propriedade de ortogonalidade $C_i = \Phi_i^T c \Phi_i$. As constantes a_0 e a_1 são determinadas pela Equação (26).

$$\xi_i = \frac{a_0}{2\omega_i} + \frac{a_1\omega_i}{2} \quad (26)$$

Desta forma, o modelo estrutural de MGL com amortecimento e ação externa, necessita pelo método de superposição modal a solução N equação de um grau de liberdade, conforme a expressão seguinte.

$$\ddot{Y}_i + C_n \dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = P_i(t) \quad (27)$$

Para cada equação do sistema desacoplado na Equação (27), usa-se a Integral de Duhamel, conforme Equação (10) e combinada com a Equação (21). Lembrando que $M_i = 1$ e $K_i = \omega_i^2$. Para facilitar o entendimento global de um problema de MGL usando superposição modal, concatena-se as principais ideias em um fluxograma, como é possível visualizar na Figura 3.

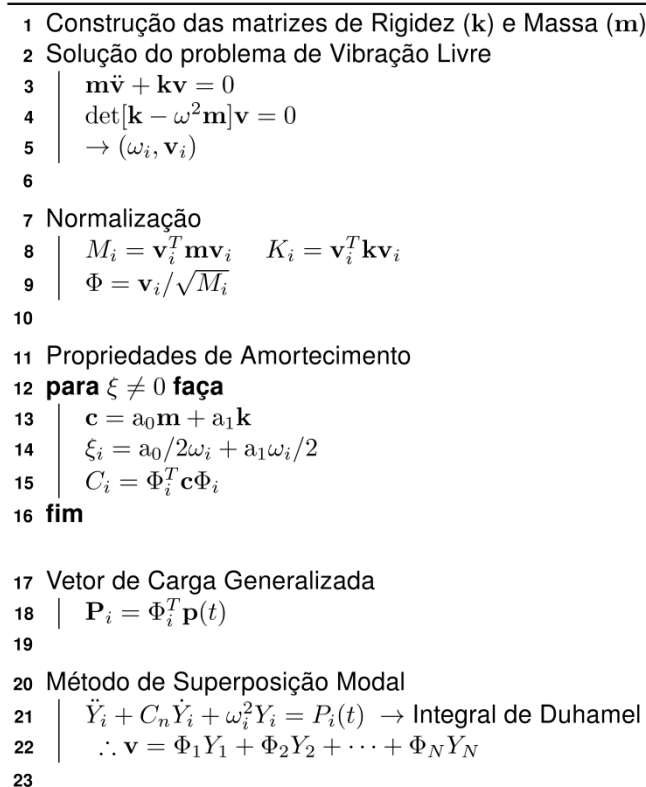


Figura 3. Pseudocódigo para sistemas dinâmicos de MGL

Fonte: Acervo Pessoal.

A Figura 3 ilustra um fluxograma para auxiliar na solução de problema de MGL utilizando o método de superposição modal acoplado com a Integral de Duhamel. Inicia-se resolvendo o problema de vibração livre, que fornece os autovalores e autovetores. Após esta etapa, determinam-se as propriedades de amortecimento levando em conta a matriz de amortecimento de Rayleigh que realiza uma combinação com as outras matrizes do sistema. Então é possível encontrar o vetor de carga generalizado e

assim calcular o histórico de deslocamento para cada grau de liberdade. Lembrando que, para cada equação do sistema desacoplado aplicam-se os conceitos vistos sobre Integral de Duhamel para a solução.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro caso analisado é um problema de vibração forçada com amortecimento sujeita a uma carga periódica, sendo a função dado como $f(t) = 4,474 \cdot 10^6 \cos 10t$, a taxa de amortecimento é $\xi = 3\%$ e a estrutural é constituída por $k = 130,46 \cdot 10^5 \text{ N/m}$ e $m = 456,05 \cdot 10^3 \text{ kg}$. A resposta pode ser visualizada na Figura 4.

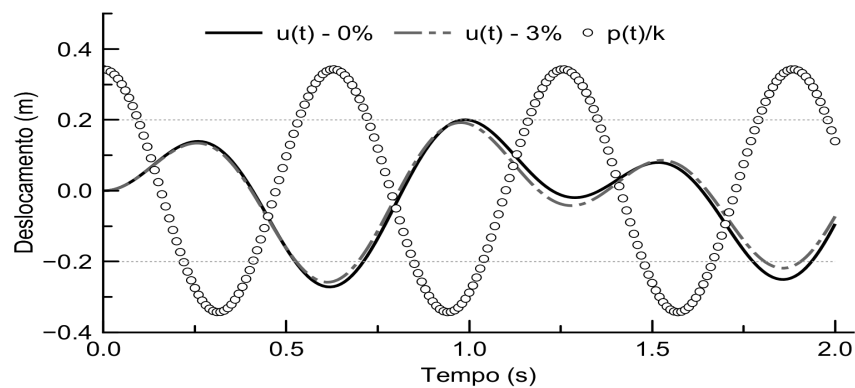


Figura 4. Histórico de deslocamento

Fonte: Acervo Pessoal.

Observe na Figura 4 que a ação periódica atua durante todo o intervalo de tempo da oscilação. Pode-se notar ainda que não existem diferenças em uma grande escala quando se trata de vibração com ou sem amortecimento para taxas de amortecimento pequenas, ou seja, em algumas aplicações por facilidade pode desprezar o efeito do amortecimento para ter uma estimativa previa do comportamento estrutural. Ressalta-se que este procedimento é uma simplificação para uma análise inicial.

O segundo caso consiste em uma viga engasta livre sujeita a uma ação não periódica com caractere impulsivo de rampa-constante em sua extremidade livre, conforme Figura 5, com uma taxa de amortecimento de 2% e propriedades sendo $k = 388,89 \text{ kN/m}$ e $m = 360,42 \text{ kg}$. Considere dois intervalos de atuação da carga, sendo-os $t_d = 0,4s$ e $t_d = 0,04s$.

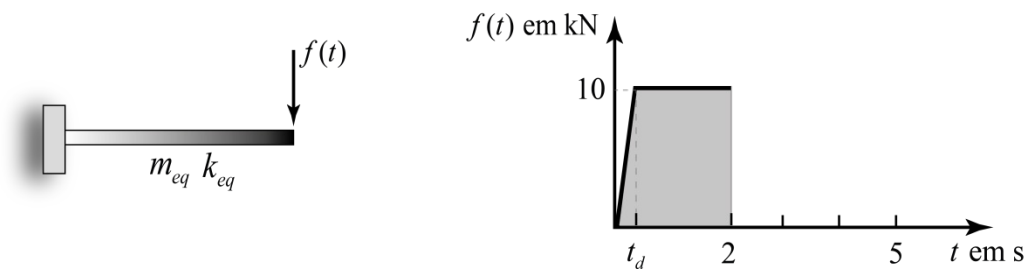


Figura 5. Esquema da viga e carga externa aplicada

Fonte: Acervo Pessoal.

A Figura 6 ilustra a resposta do deslocamento para 0,04s correlaciona com a carga atuante na estrutura. Note que no intervalo onde a carga externa é constante a solução é próxima ao valor do deslocamento pseudoestático $u_0 = 10/388,89 = 0,026m$.

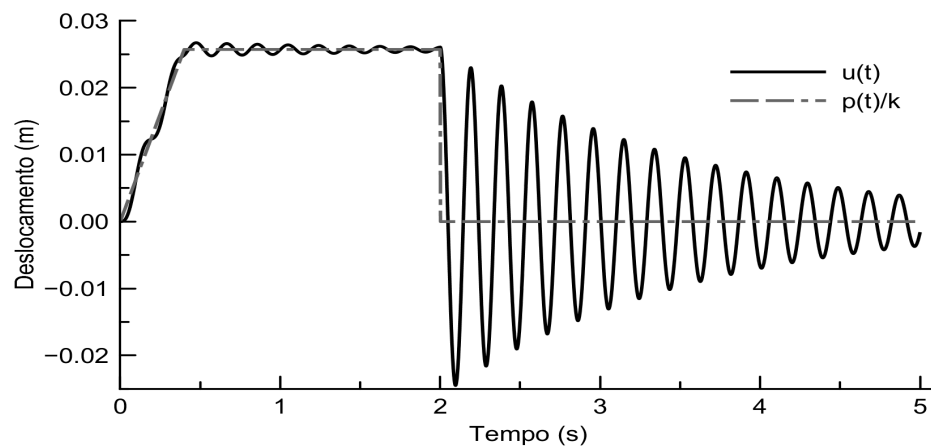


Figura 6. Resposta dinâmica para $t_d = 0.4$ $t=0.001$

Fonte: Acervo Pessoal.

Diferentemente do carregamento do primeiro caso, esta ação não atua em todo intervalo de oscilação, ou seja, quando não existir carga atuando a solução começa a tender para zero devido ao amortecimento, como pode ser visto na Figura 6. Considerando 0,004s de intervalo de aplicação da carga no regime linear, o histórico de resposta é ilustrado na Figura 7.

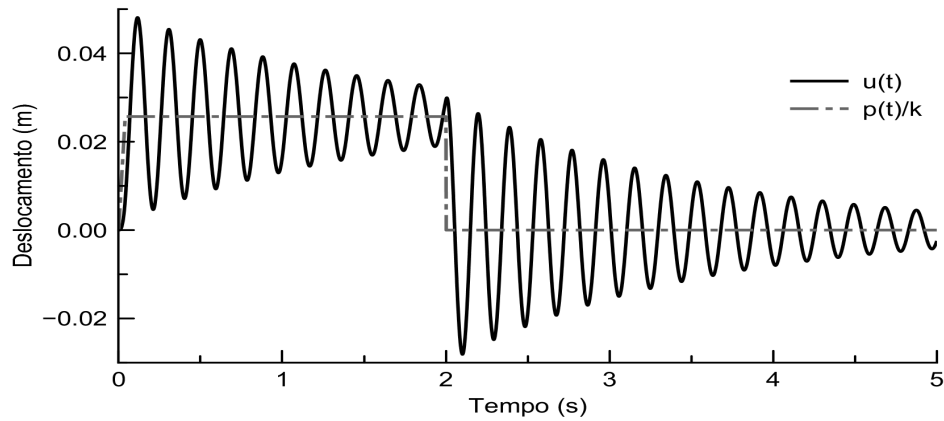


Figura 7. Resposta dinâmica para $t_d = 0.04$ $t=0.001$

Fonte: Acervo Pessoal.

Considerando este intervalo de aplicação da força em rampa, com esta configuração tem-se uma maior inclinação na carga, o que acarreta em uma característica de força de impacto que consiste em uma oscilação em torno da resposta estática até cessar a atuação da força. Após, a oscilação fica em torno do valor neutro até tender a nulidade devido ao amortecimento. Este comportamento é visto na Figura 7.

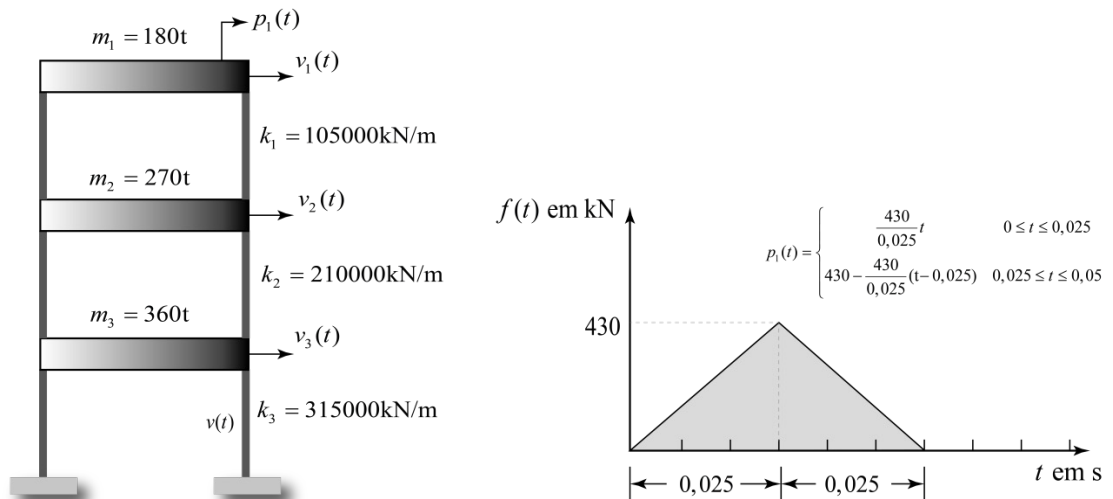


Figura 8. Esquema e carga da dinâmica da estrutura de MGL

Fonte: Acervo Pessoal.

O terceiro caso é composto com uma estrutura de três pavimentos do tipo “*Shear Building*”, onde é permitido o deslocamento horizontal dos pavimentos, conforme ilustra a Figura 8. Neste caso, tem-se um problema com três graus de liberdade, sob

um sistema com amortecimento e sujeito a uma ação não periódica de característica rampa-declive atuante no 1º pavimento.

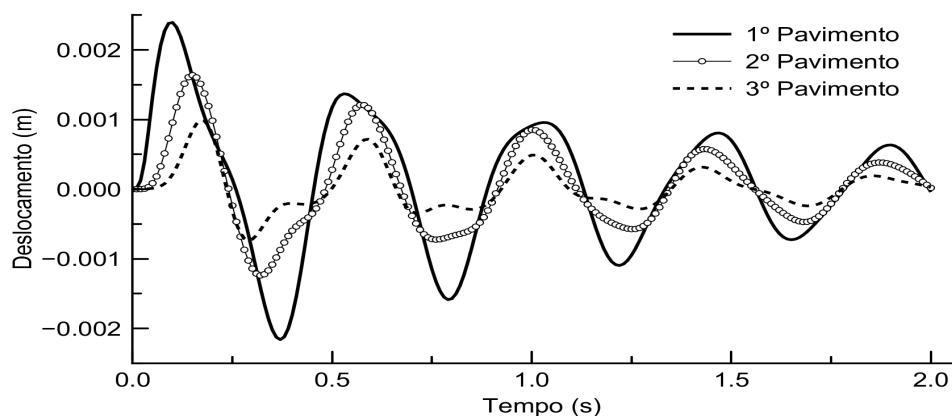


Figura 9. Respostas obtidas para os três pavimentos

Fonte: Acervo Pessoal.

As respostas para cada pavimento podem ser visualizadas na Figura 9, tendo que o primeiro pavimento, onde atua a carga não periódica, ocorrem os maiores valores de deslocamento, em contrapartida, os pavimentos próximos a fundação possuem maior rigidez, acarretando em uma menor ordem de grandeza em relação ao deslocamento, como é possível visualizar no histórico de deslocamento.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O vigente trabalho teve como cerne a estudo da formulação de sistema dinâmica de um e múltiplos graus liberdade sujeitos a ação de cargas externas qualquer em função do tempo e a solução de tais problemas aplicando o Método da Integral de Duhamel. Os resultados apresentaram um comportamento físico acertado, verificando a eficiente da técnica para da solução dos problemas com estas características.

Por fim, sabe-se que estudo da dinâmica estrutural é uma área que contemplam diversos níveis de complexidades e demanda um grande volume de pesquisa ao longo dos tempos. Desta forma, o artigo tem como caráter fundamental motivar e apresentar de forma clara os conceitos e aplicações práticas para os discentes, a fim de garantir uma melhor compressão da formulação matemática e conceitual sobre as particularidades dos problemas de vibratórios estruturais.

REFERÊNCIAS

Bledzik, A. K. Clough, R. W.; Penzien, J. **Dynamics of Structures**. Berkeley: Computers & Structures, Inc., 1995.

Craig, R. **Structural dynamics: an introduction to computer methods**. New York: Wiley, 1981.

Ferreira, W. G. **Análise Dinâmica no Domínio da Frequência de Sistemas Estruturais**. Vitória: Enfoque, 2002

Laeysen, J.; Gallicchio, E.; Tamagna, A. **Sistemas vibratórios amortecidos**. UFRGS, 2004.

Rao, S. **Vibrações mecânicas**. Pearson Educación, 2009.

William, T.; Marie, D. **Theory of vibration with applications**. New Jersey, 1998.

USO DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL NA OTIMIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE ADSORÇÃO COM TURFA PARA REMOÇÃO DA TURBIDEZ DE EFLUENTE OLEOSO

Regina Celia de Oliveira Brasil Delgado

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró – RN

Francisco Igor da Costa Freire

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró – RN

Andréa Francisca Fernandes Barbosa

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró – RN

André Luís Novais Mota

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró – RN

Kalyanne Keyly Pereira Gomes

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Departamento de Engenharia e Tecnologia
Mossoró – RN

RESUMO: No processo de produção do petróleo, normalmente é extraído, juntamente com óleo, a chamada água produzida, que consiste de água da formação (água conata) ou de água de injeção. Essa água contém poluentes, os quais representam risco ao meio ambiente, seja pela contaminação do solo ou aquíferos ou ainda podem ocasionar incrustações e corrosão em tubulações, devido aos sais

presentes. Diante disso, medidas devem ser tomadas para prevenir possíveis danos. Uma das principais preocupações é a remoção do óleo disperso na água. A adsorção, atualmente, vem sendo bastante estudada para este fim. Estudos recentes concentram-se em encontrar adsorventes economicamente viáveis e que apresentem eficácia satisfatória no processo de adsorção aplicado na remoção de poluentes de efluentes aquosos. Contribuindo para estes estudos, o presente trabalho se propôs a analisar a eficiência da turfa na remoção da turbidez de um efluente oleoso. Foi aplicado um planejamento experimental, composto central rotacional, utilizando o sistema de banho finito para obtenção de dados. Verificou-se a influência de duas variáveis, pH e massa de adsorvente, em função do porcentual de remoção de turbidez de um efluente sintético, preparado de forma a simular a água produzida em poços de petróleo. A turfa apresentou bons resultados na remoção de turbidez do efluente produzido. As condições ótimas de operação foram determinadas com 2,79 gramas de turfa e um pH igual a 5,44, obtendo um total de 86,89% de remoção da turbidez.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, Efluente oleoso, Turfa.

ABSTRACT: In the oil production it is usually extracted the so-called produced water, which

consists of connate water or injection water. This water contains pollutants, which pose a risk to the environment by soil or aquifer contamination or fouling and pipe corrosion due to the salts. Therefore, measures must be taken to prevent possible damage. One of the main concerns is the removal of oil dispersed in water. Adsorption is currently being studied for this purpose. Recent studies focus on finding economically viable adsorbents that have satisfactory efficacy in adsorption process applied in the removal of pollutants from aqueous effluents. Contributing to these studies, the present work aimed to analyze the efficiency of peat in turbidity removal from an oily effluent. An experimental design (rotational central composite) was applied using the finite bath system to obtain data. The influence of two variables, pH and adsorbent mass was verified as a function of the turbidity removal percentage of a synthetic effluent, prepared to simulate the oilfield water produced. The peat showed good results in turbidity removal from the effluent produced. Optimum operating conditions were determined with 2.79 grams of peat and 5.44 of pH, achieving 86,89% turbidity removal total.

KEYWORDS: Adsorption, Oily Effluent, Peat

1 | INTRODUÇÃO

Durante o processo de produção de um poço de petróleo, quando o óleo é recuperado do reservatório, ocorre também a produção de água. Chamada de água produzida, a mesma apresenta uma mistura complexa de compostos químicos, orgânicos e inorgânicos destacando-se a presença de sais, partículas de óleo em suspensão e dissolvidos, metais pesados, ácidos e sólidos suspensos. Devido ao seu alto poder de contaminação, a água produzida não tratada representa risco ao meio ambiente, seja pela contaminação do solo ou de aquíferos, podendo também ocasionar incrustações e corrosão em tubulações, devido aos sais presentes.

Independentemente do destino dado à água produzida, é necessário que ela seja submetida a tratamentos específicos a fim de enquadrar seus parâmetros às exigências técnicas, operacionais e ambientais (MOTTA *et al.*, 2013). Sendo assim, diante de grandes volumes de efluentes, é expressivo o custo que isto representa para as empresas da indústria de petróleo.

Atualmente, a adsorção vem sendo aplicada em processos de purificação e separação e a indústria de petróleo vem frequentemente fazendo uso de adsorventes em tratamentos de efluentes como também estudando sua eficiência. Logo, tornou-se importante buscar materiais eficientes, de fácil obtenção e baixo custo.

A turfa é uma substância fóssil, organo-mineral, originada da decomposição de restos vegetais, encontrada em áreas alagadiças (FANCHI, 2004). É um material poroso com elevada capacidade de adsorção para metais de transição e moléculas orgânicas polares (PETRONI; PIRES; MUNITA, 2000).

Morais *et al.*, (2016) avaliaram o tratamento de água produzida sintética usando turfa como adsorvente, visando verificar a eficiência do material no processo de

remoção de turbidez da água. Os autores realizaram os ensaios em banho finito usando 5 gramas de turfa natural e hidrofobizada com faixas granulométricas de -10+16 e -16+30 e observaram que a remoção de turbidez foi satisfatória utilizando os dois tipos de materiais, confirmando a capacidade da turfa para ser aplicada no tratamento de água produzida. O material hidrofobizado de menor granulometria (-16+30) apresentou maior capacidade na remoção de turbidez do fluido sintético

O planejamento experimental representa um conjunto de ensaios estabelecido com critérios científicos e estatísticos, com o objetivo de determinar a influência de diversas variáveis nos resultados de um dado sistema. Neste trabalho foi elaborado um planejamento fatorial 2^2 ampliado em estrela, também chamado de composto central rotacional. Este planejamento compreende 4 pontos do planejamento experimental 2^2 , mais 4 pontos axiais referentes à ampliação em estrela e 3 pontos centrais para verificação do erro, perfazendo um total de 11 experimentos (MOTA, 2010).

A partir dessas informações, o presente trabalho tem como objetivo geral usar o planejamento experimental fatorial ampliado em estrela a fim de otimizar as variáveis do processo de adsorção com turfa para remoção de turbidez de efluente sintético oleoso, visando aplicação em água produzida em campos de petróleo.

2 | METODOLOGIA

2.1 Planejamento experimental

As variáveis escolhidas para análise foram massa de adsorvente e pH, que afetam diretamente no processo de adsorção. Obteve-se os valores das variáveis codificadas (máximas, -1, e mínimas, +1, além dos pontos axiais, -1,41 e +1,41) referentes à massa de turfa (X_1) e ao pH (X_2) utilizados nos experimentos. Os valores de pH (X_2) foram escolhidos a fim de estudar a adsorção em meio ácido e básico.

2.2 Preparação do efluente sintético

Um efluente aquoso foi preparado com concentração de 20% de óleo diesel S500 e ficou sob agitação por 60 minutos para homogeneização da mistura água-óleo. Após agitação, o fluido foi colocado para decantar em funil de separação a fim de separar as duas fases (óleo em excesso e fase aquosa). A fase aquosa foi utilizada nos experimentos. A partir desse fluido foram preparadas um total de 11 experimentos, nas condições experimentais definidas pelo planejamento experimental.

2.3 Ajuste do pH dos experimentos

Inicialmente, realizou-se a medida do pH do efluente sintético e para seguir o planejamento foram ajustados os pHs das misturas (fluido + adsorvente). A depender do pH desejado, foi usado hidróxido de sódio (NaOH) e/ou ácido nítrico (HNO_3) para ajuste. As análises foram realizadas usando um medidor de pH.

2.4 Ensaio em banho finito

Após o ajuste do pH, as misturas (fluido + material adsorvente) em frascos de Erlenmeyer de 250 mL foram postas na incubadora *shaker*, a uma temperatura constante de 30 °C com rotação orbital de 150 rpm por período de 15 horas, que consiste no sistema de banho finito,. Após o tempo de agitação, as amostras permaneceram em repouso durante 5 horas para a decantação do material. Em seguida, com ajuda de uma seringa, foi coletado o fluido sobrenadante para análise da turbidez.

2.5 Determinação do potencial de adsorção pelo método da turbidez

O potencial de adsorção foi avaliado qualitativamente, através da técnica da turbidez, utilizando um turbidímetro. Foi analisada a turbidez de cada amostra após o banho finito, a fim de compará-las ao valor inicial apresentado pelo efluente sintético.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 apresenta-se os valores das variáveis codificadas (máximas, -1, e mínimas, +1, além dos pontos axiais, -1,41 e +1,41 e do ponto central) referentes à massa de turfa (X_1) e ao pH (X_2).

Variáveis	Código	Níveis				
		-1,41	-1	0	1	1,41
Massa de turfa (g)	X_1	3,27	4,13	6,19	8,26	9,11
pH	X_2	2,93	3,80	5,90	8,00	8,87

Tabela 1. Valores das variáveis codificadas e reais.

A turbidez inicial do efluente sintético foi de 443 NTU (*Nephelometric Turbidity Unity*). Os resultados de remoção de turbidez utilizando a turfa estão apresentados na Tabela 2 em termos de percentual de turbidez removida.

Ensaio	Massa (g)	pH	% Rem.
1	3,27	5,90	57,11
2	9,11	5,90	82,87
3	4,13	8,00	0,00
4	4,13	3,80	99,29
5	8,26	3,80	98,80
6	8,26	8,00	92,12
7	6,19	2,93	99,36
8	6,19	8,87	95,35
9	6,19	5,90	79,05
10	6,19	5,90	79,75
11	6,19	5,90	80,00

Tabela 2. Valores de remoção de turbidez obtidos utilizando a turfa como adsorvente.

% Rem.= % Removido

Para o ensaio 3, a combinação da massa e pH não contribuiu para remoção de turbidez, foi obtido um valor maior que a turbidez inicial do efluente sintético, portanto, não houve remoção.

Foi gerado um modelo matemático (Eq. 1), que relaciona o percentual de turbidez removido com as duas variáveis em estudo, massa de adsorvente em gramas (X_1) e pH (X_2).

$$\%Rem. = 79,6000 + 16,0075X_1 - 13,9551X_2 - 7,5850X_1^2 + 6,0975X_2^2 + 23,1525X_1X_2 \quad (Eq.1)$$

A Figura 1 mostra o diagrama de Pareto, que representa o grau de influência das variáveis estudadas sobre a remoção de turbidez (variável resposta em % de turbidez removida).

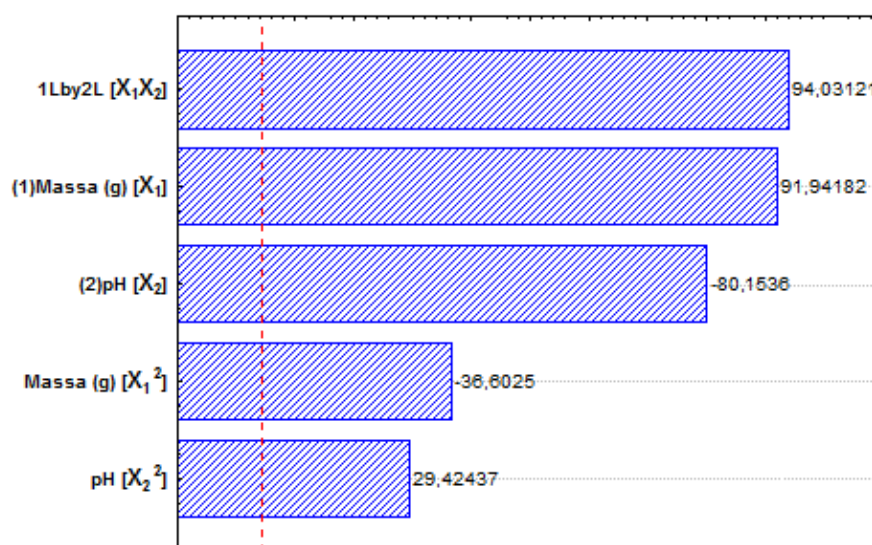


Figura 1. Gráfico de Pareto utilizando turfa como adsorvente.

Analisando o gráfico de Pareto, nota-se que todas as variáveis estudadas são influentes sobre o percentual de turbidez removido, que é a variável resposta, pois todas elas ultrapassam a linha de $p = 0,05$. Em uma análise mais detalhada, observa-se que o termo linear para massa (X_1) apresenta influência sobre a resposta de forma positiva, ou seja, quanto maior for o valor maior será o percentual de remoção de turbidez (variável resposta). Verifica-se ainda que o termo linear do pH (X_2) apresenta influência sobre a remoção de turbidez de forma negativa. Portanto, quanto maior for o pH menor será a porcentagem de turbidez removida. O termo de maior influência sobre a variável resposta é o termo linear que relaciona as duas variáveis (X_1X_2) e quanto maior for seu valor maior o será o valor da resposta ().

As Figuras 2 e 3 apresentam respectivamente o gráfico da superfície de resposta e as curvas de nível para os resultados obtidos. A partir destas, é possível analisar de uma forma mais geral a influência que a massa de adsorvente e o pH da solução tem sobre a adsorção pela turfa e conseqüentemente sobre a remoção de turbidez. Além disso, é possível identificar também o ponto ótimo de operação, ou ponto de maior

valor para a resposta.

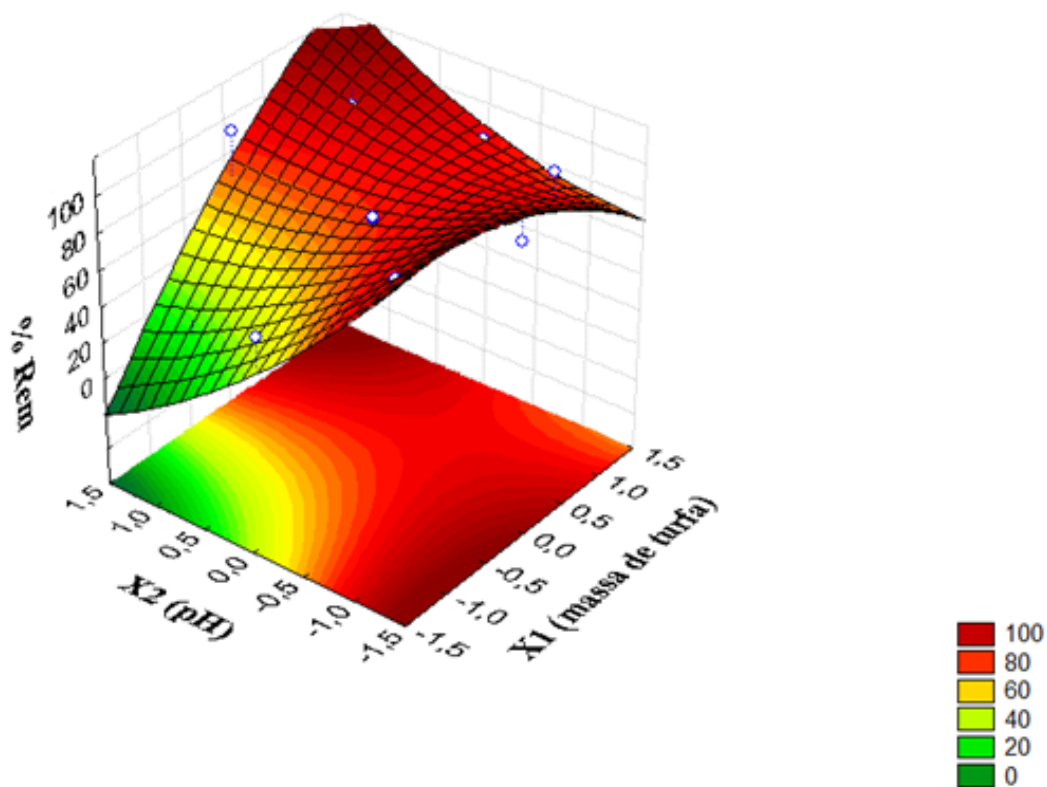


Figura 2. Gráfico da Superfície de Resposta para a remoção de turbidez usando a turfa.

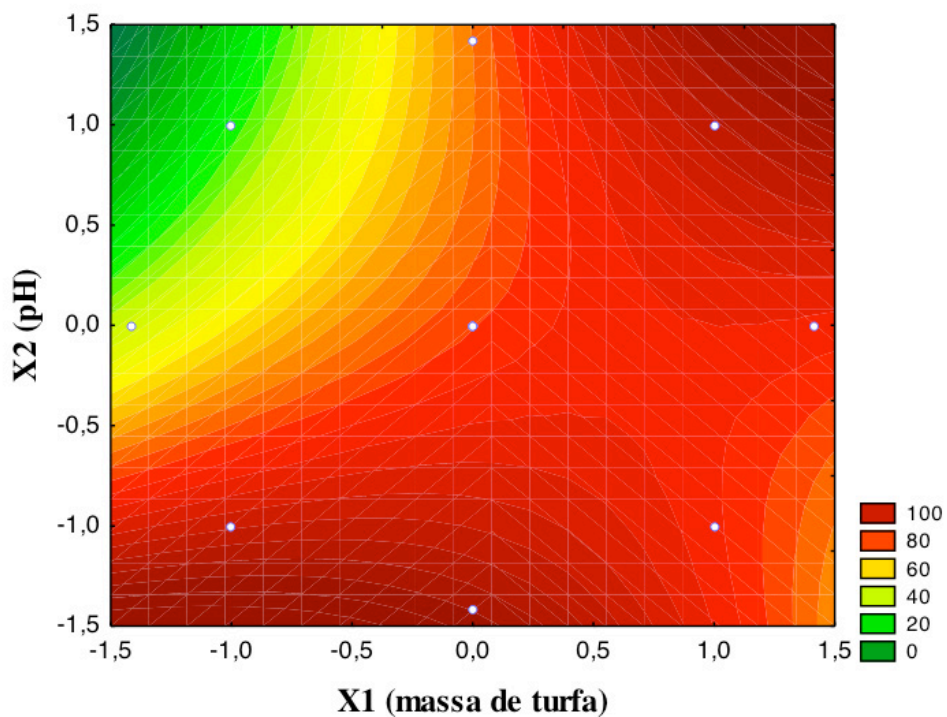


Figura 3. Gráfico de contorno para as variáveis estudadas com valores codificados utilizando turfa para remoção de turbidez.

Ao analisar as figuras 2 e 3 verifica-se que a porcentagem de remoção de turbidez, que é a variável resposta, aumenta significativamente com a influência

combinada das duas variáveis, como observado no gráfico de Pareto (Figura 1). Os mais altos resultados são observados quando o pH e massa da turfa são mais elevados ou mais baixos, concomitantemente. Para o caso em que o pH é elevado e a massa de adsorvente é baixa, o valor de remoção é insatisfatório. Nos casos em que a massa de adsorvente é elevada e o pH é mais baixo o percentual de remoção também apresenta resultados satisfatórios, retomando ao observado na Figura 1 onde ficou claro a grande influência positiva que X_1 (massa de adsorvente) tem sobre a variável resposta. O ponto ótimo de operação determinado pelo modelo é com 2,79 gramas de turfa ($X_1 = 0,71883$) e um pH igual a 5,44 ($X_2 = -0,22039$), obtendo um percentual de remoção de turbidez de 86,89%. Esses valores são inferiores aos obtidos em determinadas condições experimentais. Isto foi devido à não obtenção da superfície de resposta adequada para a correta determinação da condição ótima para este de modelo. Como pode ser observado também pelo gráfico crescente da Figura 2, as condições ótimas ainda não foram alcançadas, necessitando mudanças nas condições de máximos e mínimos do planejamento experimental para obtenção mais precisa das condições ótimas experimentais.

No estudo da adsorção de zinco e cádmio usando turfa como adsorvente (PETRONI; PIRES; MUNITA, 2000), os autores concluíram que a turfa é capaz de adsorver 99% desses metais em solução numa faixa de pH de 3,7 a 6,5.

A análise da variância dos resultados está apresentada na Tabela 3. Verificou-se que o modelo apresentou coeficiente de determinação não muito satisfatório, pois o R^2 explica 77,52 % da variação total das respostas. O modelo apresenta-se como significativo, uma vez que o $F_{cal} > F_{tab}$, porém o F_{cal} / F_{tab} não é maior que 10 em um dos resultados, logo, o mesmo é não preditivo. Esse modelo também apresentou falta de ajuste (teste F maior que 1). Apesar de significativo estatisticamente, o modelo não é capaz de prever os resultados e necessita de alterações para minimizar a falta de ajuste.

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	$F_{calculado}$ (95%)	$F_{tabelado}$ (95%)	F_{cal} / F_{tab}
Regressão	6505,71	4	1626,43	5,17	4,53	1,14
Resíduos	1886,16	6	314,36			
Falta de Ajuste	1885,67	4	471,42	1943,99	19,25	100,99
Erro puro	0,4850	2	0,24			
Total	8391,87	10				
% de variação explicada:		77,52	%			
% máxima variação explicável:		99,99	%			

Tabela 3. Análise de variância para a porcentagem de remoção de turbidez usando a turfa.

A Figura 4 apresenta o diagrama de dispersão dos valores calculados em função

dos valores observados e o ajuste da regressão (linha sólida), com um intervalo de confiança de 95 % para o percentual de remoção de turbidez. Como quase todos os pontos estão dentro do limite de confiança estabelecido (área entre linhas tracejadas) e se agrupam em torno da linha de tendência, a regressão foi estatisticamente significativa. A repetição dos experimentos, cujos pontos estão fora do limite de confiança, pode melhorar R^2 e eliminar um possível erro experimental.

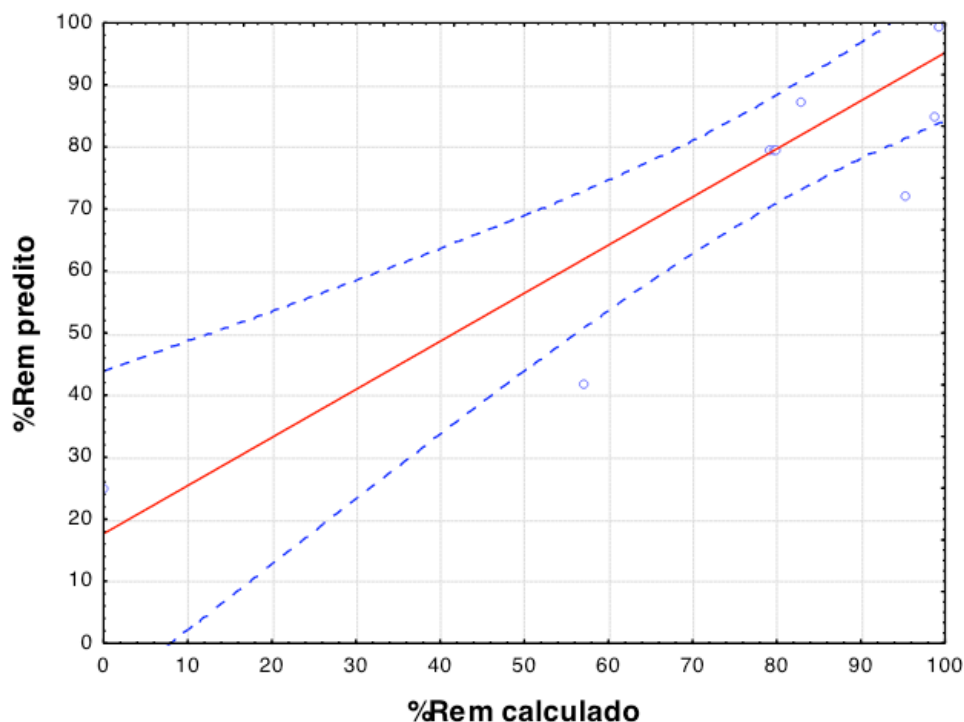


Figura 4. Diagrama de dispersão dos valores de remoção de turbidez preditos em função dos valores calculados para a turfa.

4 | CONCLUSÕES

O planejamento experimental realizado mostrou-se significativo, permitindo a análise do comportamento da massa de turfa (adsorvente) e pH sobre a porcentagem de remoção de turbidez do efluente oleoso. A falta de ajuste do planejamento foi provavelmente devida ao ensaio que não apresentou remoção de turbidez (ensaio 3).

Verificou-se que o pH influenciou o processo de adsorção negativamente e a quantidade de massa positivamente. A turfa no pH ácido apresenta uma maior adsorção, devido aos seus sítios ativos serem propícios a uma solvatação do contaminante no meio ácido. Porém, a porcentagem de remoção de turbidez aumenta significativamente com a influência combinada das duas variáveis. Os maiores resultados de remoção foram observados quando o pH e massa de turfa eram mais elevados ou quando eram mais baixos, concomitantemente. O ponto ótimo de operação obtido pelo modelo foi com 2,79 gramas de turfa e um pH igual a 5,44, perfazendo um total de 86,89% de remoção da turbidez. Apesar da superfície de resposta obtida pelo modelo ser

crescente, indicando que as condições experimentais de máximos e mínimos usadas para criação do modelo não foram muito adequadas para este tipo de planejamento experimental, os resultados obtidos são de grande relevância, pois indica a tendência de melhores condições experimentais.

Devido aos bons resultados de remoção de turbidez do efluente oleoso com uso da turfa, conclui-se que esse tipo de material apresenta elevado potencial para ser aplicado no tratamento da água produzida em campos de petróleo.

5 | AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA e ao CNPq pela concessão da bolsa.

REFERÊNCIAS

FRANCHI, J. G. **A utilização de turfa como adsorvente de metais pesados**: O exemplo da contaminação da bacia do rio Ribeira de Iguape por chumbo e metais associados. São Paulo, 2004.

MORAIS, D. R. P.; BRASIL DELGADO, R. C. O.; MOTA, A. L. N.; SANTIAGO, R. C.; DEUS, C. A. B.; DOMINGOS, I. S. **Análise de Redução de Turbidez de Água Produzida Sintética Utilizando Turfa como Material Adsorvente**. Rio Oil & Gas Expo and Conferense. Rio de Janeiro, 2016.

MOTA, A. L. N. **Desenvolvimento de um sistema foto-oxidativo visando aplicação no tratamento de águas produzidas em Campos de Petróleo**. 158f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2010.

MOTTA, A. R. P.; BORGES, C.P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K. P.; ARAUJO, P. M.; BRANCO, L. DA P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.18, n.1, p.15-26, 2013.

PETRONI, S. L. G.; PIRES, M. A. F.; MUNITA, C. S. Adsorção de zinco e cádmio em colunas de turfa. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p.477-481, Bimestral. 2000.

UTILIZAÇÃO DE COBERTURA COMESTÍVEL NA CONSERVAÇÃO DE HORTIFRUITI

Martiliana Mayani Freire

Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife - Pernambuco

Leoclécio Luis de Paiva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Macaíba – Rio Grande do Norte

Laís Barreto Franco

Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife - Pernambuco

Anna Paula Marques Cardoso

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte
Natal – Rio Grande do Norte

Gleison Martins Medeiros Raposo

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Rio Grande do Norte
Natal – Rio Grande do Norte

Caliane Lília Leite do Nascimento

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Macaíba – Rio Grande do Norte

Pedro Fagner Araújo Pereira

Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife - Pernambuco

RESUMO: A atmosfera modificada é uma técnica pós-colheita que se destaca por proporcionar a redução dos efeitos oriundos dos processos metabólicos, sem desencadear em alterações fisiológicas do fruto. O tomate, durante seu processo de amadurecimento,

apresenta alta taxa respiratória, a qual desencadeia transformações químicas e físicas como amolecimento, perda de clorofila e síntese de carotenoides. Dentro desse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da atmosfera modificada à base de cera de abelha e filme PVC no prolongamento da vida útil pós-colheita do tomate. Os tomates italianos foram selecionados pelo tamanho, estágio de maturação verde e pelas boas condições físicas. Foram utilizados frutos cobertos por cera de abelha x cobertos com filme x testemunha, com quatro repetições. As avaliações realizadas foram taxa respiratória, a firmeza de polpa e perda de peso. A cera de abelha conseguiu manter baixa taxa de respiração (TR) por um maior período de armazenamento que o filme PVC, com 100,81 na taxa da TR no sexto dia de armazenamento. O revestimento de cera de abelha foi mais eficiente que o filme PVC em manter maior firmeza de polpa dos frutos. O revestimento de filme PVC foi mais eficiente que a cera de abelha em reduzir a perda de massa dos frutos.

PALAVRAS-CHAVE: Cera de abelha, biofilmes, *Solanum lycopersicum* L.

EDIBLE COVERAGE OF USE IN CONSERVATION HORTIFRUITI

ABSTRACT: The modified atmosphere is

post-harvest stands technique for providing reducing effect resulting from metabolic processes without triggering changes in physiological fruit. Tomato during its ripening process, has a high respiratory rate, which triggers chemical and physical changes, such as softening, loss of carotenoids and chlorophyll synthesis. In this context, the aim of this study was to evaluate the effect of modified atmosphere beeswax and PVC base film in extension of post harvest shelf life of tomatoes. Italian tomatoes were selected by size, green maturity stage and the good physical condition. Fruits were covered with beeswax x covered with film x control, with four replications. The evaluations were respiratory rate, the firmness and weight loss. Beeswax was able to maintain low respiration rate (RR) for a longer storage period than PVC film with 100.81 TR rate in the sixth storage day. The beeswax coating was more efficient than the plastic wrap to maintain most of the fruit pulp firmness. PVC film coating was more efficient than the beeswax to reduce the mass loss of the fruit.

KEYWORDS: Beeswax, biofilms, *Solanum lycopersicum* L.

1 | INTRODUÇÃO

A utilização de tecnologias de conservação pós-colheita de frutas e hortaliças é importante para aumentar o período de comercialização desses produtos (CERQUEIRA, 2011). Entretanto, deve-se considerar alguns critérios de escolha do método para conservação, como recursos econômicos disponíveis, da infraestrutura, hábitos culturais e dos princípios de pós-colheita de cada hortaliça.

Dentre as técnicas adotadas para minimizar as alterações de pós-colheita, a atmosfera modificada se destaca por proporcionar a redução dos efeitos oriundos dos processos metabólicos, sem desencadear em alterações fisiológicas do fruto (MIZOBUTSI et al., 2012). A utilização de embalagens de polietileno, a base de petróleo, tem sido usada para prolongar a vida útil de prateleira de frutos, devido a sua praticidade de uso, baixo custo, durabilidade e alta resistência. Contudo, estas necessitam de centenas de anos para se decompor ocasionando poluição ambiental (SARMENTO et al., 2015).

Assim, as coberturas comestíveis têm sido utilizadas como alternativa para modificar a atmosfera por melhorar a aparência dos frutos, tornando-os mais atrativos ao consumidor (MOHR et al., 2015). O uso de produtos naturais para o desenvolvimento de novas embalagens é vantajoso para a indústria alimentícia e para a sociedade, uma vez que beneficia a alimentação e o meio ambiente. (FRÁGUAS et al., 2018).

Os polissacarídeos têm sido objeto de estudo de vários pesquisadores por formarem biofilmes de matriz coesa, de origem renovável, comestíveis, eficientes barreiras para o oxigênio e gás carbônico, porém possuem baixa eficiência como barreira de umidade. Os filmes obtidos a partir da cera de abelha apresentam, geralmente, propriedades emulsificantes; plasticidade; odor agradável; conferem brilho ao fruto; aparência atrativa; reduz a perda de peso do fruto; diminui a respiração,

sem ocasionar condições de anaerobiose (AGOSTINI et al., 2009; TOSNE et al., 2015). Assim, pode ser vantajoso o uso desta substância na formação de biofilmes.

O tomate por ser um fruto climatérico, durante seu processo de amadurecimento, ele apresenta alta taxa respiratória, a qual desencadeia transformações químicas e físicas como amolecimento, perda de clorofila e síntese de carotenoides (BARRETO et al., 2014), sendo, portanto, necessário aumentar a vida útil de prateleira deste fruto.

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da atmosfera modificada a base de cera de abelha e filme PVC no prolongamento da vida útil pós-colheita do tomate.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no laboratório de pós-colheita da Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), localizada na Escola Agrícola de Jundiá em Macaíba-RN.

Os tomates italianos utilizados neste trabalho foram selecionados pelo tamanho, estágio de maturação verde e boas condições físicas (integridade física). Estes foram higienizados e acondicionados no laboratório. A cobertura comestível foi elaborada com base na metodologia descrita por Barreto et al. (2014). Para formulação foram utilizados 1 L de água e 20 g de cera de abelha, correspondendo a uma solução de 5%.

O derretimento da cera de abelha (biofilme) foi feito em Banho Maria, à 90° C, agitando-se a solução com um bastão de vidro até o processo de derretimento ser concluído. Após ocorrer o derretimento, os frutos correspondentes ao tratamento de cera de abelha foram imersos em Banho Maria durante 05 segundos, com o auxílio de uma pinça, e, em seguida, foram retirados e deixados em uma bandeja.

Para melhor condução do experimento, todos os frutos foram sorteados ao acaso e armazenados em bandejas de isopor, para serem utilizados a cada dois dias, visto que o experimento consistiu em cinco análises feitas a cada dois dias, tendo como marco o dia zero e como último dia de armazenamento, o oitavo dia.

Os frutos de tomates foram separados, sorteados e submetidos a cinco análises, em oito dias, as quais foram feitas a cada 48 horas a partir do dia 0 (zero). Foram utilizados frutos cobertos por cera de abelha x testemunha x cobertos com filme, com quatro repetições, com o intuito de avaliar a vida útil pós-colheita a partir da avaliação da taxa respiratória, por meio da metodologia proposta por Crispim et al. (1994); da firmeza de polpa e perda de peso.

Todos os tomates foram pesados, colocados em recipientes fechados contendo 10 mL da base hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol L⁻¹, e mantidos em temperatura ambiente (25°C). Além dos tratamentos aplicados, foram utilizadas duas testemunhas denominadas prova em branco, como décima segunda e terceiras repetições, cuja

preparação ocorreu sem conter fruto, apenas com recipiente de NaOH.

Os frutos foram envolvidos por um filme PVC (plástico), a fim de assegurar uma melhor vedação dos mesmos, evitando trocas gasosas com o meio externo. Após a vedação todos os recipientes foram tampados e vedados. A primeira leitura foi feita uma hora após a vedação para que o NaOH presente pudesse reagir.

Para realizar a titulação, a solução de NaOH foi retirada do recipiente. Em seguida, foram adicionados 10 mL do agente precipitante cloreto de bário (BaCl) 20,5 mol L⁻¹ para que este reagisse com o carbono presente na solução. Posteriormente foi adicionado o ácido clorídrico (HCl) na bureta a fim de realizar a titulação. Após a titulação foi feito o cálculo da taxa de respiração (equação 01).

$$TR = \frac{22 \times Mac \times fc \times (B-L) \times V1}{P \times T \times V2} \quad (01)$$

Em que,

TR = Taxa respiratória dos frutos (mg kg⁻¹ × h⁻¹); Mac= Molaridade do HCl (mol L⁻¹); fc = Fator de correção do HCl (adimensional); B = Volume de HCl gasto na prova em branco (mL); L = Volume de HCl gasto na amostra (mL); V1 = Volume de NaOH tomado para a captação de CO₂ (mL); P = Peso do fruto (kg); T = Tempo decorrido para a respiração (h); V2 = Volume de NaOH utilizado na titulação (mL).

A firmeza de polpa foi determinada com penetrômetro digital, tomando-se duas leituras por fruto em lados opostos. Os resultados foram expressos em Newton (N). A avaliação da perda de massa foi feita através de pesagens no decorrer do experimento. Inicialmente todos os frutos foram pesados (dia zero). A cada dois dias foram realizadas as pesagens apenas dos frutos correspondentes ao dia sorteado, de modo que, ao final, foi realizado o cálculo da perda de massa dos frutos correspondentes a todos os tratamentos.

O cálculo para perda de massa foi realizado com base no valor da massa inicial, medida no dia zero, com resultado expresso em miligrama (mg) (equação 02):

$$PM = \frac{Mi - M}{Mi} \times 100 \quad (02)$$

Em que,

PM = Perda de massa (mg); Mi = Massa dos frutos pesados no dia zero (mg); M = Massa do fruto pesado no dia da análise (mg).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para a taxa de respiração foram superiores entre os tratamentos quando comparados a testemunha (Tabela 1). Com o uso do filme plástico verificou-se crescimento acentuado da taxa de respiração até o quarto dia de armazenamento, estabilizando a partir do sexto. Já para a cera de abelha, o aumento

na taxa de respiração foi mais acentuado que no tratamento com filme PVC ao longo do período de armazenamento, sendo mais pronunciado no sexto dia, com redução a partir do oitavo dia.

O filme PVC apresentou menores atividades respiratórias quando comparado com a cera de abelha. Tal fato deve-se, possivelmente, a redução na produção de etileno durante o período de armazenamento com os filmes (LIMA et al., 2011). Além disso, pode-se inferir que o filme plástico manteve os frutos livre da ação de microrganismos, reduzindo o teor de oxigênio no meio avaliado. Corroborando com o presente estudo, Sarmento et al (2015) observaram que o filme PVC foi na contenção de perda de massa, devido à redução da taxa respiratória das frutas.

Ao avaliar o tratamento a base de cera de abelha, constatou-se que o biofilme não foi eficiente no controle da taxa de respiração. Por ser altamente impermeabilizante, acredita-se que a cera restringiu as trocas gasosas com o ambiente, bem como a perda de umidade. Sarmento et al. (2015) relatam que a utilização de biofilmes favoreceram a desuniformidade da coloração da casca, provavelmente devido à película impedir as trocas gasosas, favorecendo redução do metabolismo.

Tratamento	Período de armazenamento (dias)				
	0	2	4	6	8
Testemunha	9,84 a	1,24 a	15,37 b	87,44 a	16,10 b
Filme PVC	11,69 a	8,26 a	51,67 a	48,41 b	48,46 ab
Cera de abelha	18,39 a	13,96 a	13,96 b	100,81 a	59,97 a

Tabela 1- Taxa de respiração ($\text{mg}(\text{CO}_2).\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$) de frutos de tomates submetidos a atmosfera modificada e cobertura comestível em diferentes períodos de armazenamento.

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

O uso da atmosfera modificada influenciou diretamente o amadurecimento dos frutos e, conseqüentemente, a perda de consistência da polpa, de modo que, quando se utilizou filme PVC, não foram observadas diferenças na redução de firmeza de polpa nos frutos, em relação à cera de abelha, nos períodos de zero, dois, quatro e oito dias (Tabela 2). A firmeza de polpa foi influenciada pela atmosfera modificada, em seis dias de armazenamento, quando se utilizou cera de abelha. O uso da atmosfera modificada com filme PVC obteve maior perda de firmeza de polpa durante o período de armazenamento, quando comparado com a cera de abelha.

Tratamento	Período de armazenamento (dias)				
	0	2	4	6	8
Testemunha	21,65 a	15,13 a	12,32 a	5,89 b	9,77 a
Filme PVC	22,03 a	18,34 a	13,53 a	11,66 ab	12,88 a
Cera de abelha	10,87 b	14,35 a	12,13a	14,87 a	11,65 a

Tabela 2- Firmeza (N) de frutos de tomates submetidos a atmosfera modificada e cobertura comestível em diferentes períodos de armazenamento.

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

As alterações na firmeza de polpa durante amadurecimento dos frutos, em geral, ocorrem devido à desestruturação da parede celular, ocasionada pelas atividades físico-químicas das enzimas amilásicas, pécticas e galactosidas (JERONIMO et al., 2007). Em estudo conduzido por Heine et al. (2015) sobre qualidade do tomate, foram constatados que não houve influência dos tratamentos sobre a firmeza de polpa.

O uso de filme de PVC não apresentou diferenças na redução de perda de massa dos frutos, em relação à cera de abelha, nos períodos de zero, dois, quatro e oito dias (Tabela 3), mostrando que no tratamento com filme PVC houve apenas o efeito da embalagem ao vapor de água. A perda de massa foi influenciada pela atmosfera modificada, em seis dias de armazenamento, quando se utilizou cera de abelha.

A perda de massa variou entre 0 e 12,06%, sendo observada maior perda de massa no tratamento com cera de abelha como cobertura. Tanto para filme PVC quanto para cobertura a base de cera de abelha houve perda gradual de massa até o sexto dia de armazenamento, com redução a partir do oitavo dia. A cera de abelha foi menos eficiente que o filme PVC na redução da perda de massa, superando o limite máximo admissível que é de 5%.

Em trabalho realizado por Barreto et al. (2014), utilizando cera de abelha na composição de uma cobertura filmogênica em proporções que variaram de 1 a 2 %, os autores observaram que os tratamentos também tiveram maior perda de massa que a testemunha. As perdas de massa diferiram de 7,43% a 11,54%. Acreditava-se que por ser hidrofóbica, a cera de abelha atribuiria melhor propriedade de barreira à umidade, dificultando a perda de massa. No entanto, os autores concluíram que o uso de um outro componente na composição das coberturas filmogênicas, a lecitina de soja, pode ter favorecido a perda de massa por ser uma substância bastante higroscópica.

Tratamento	Período de armazenamento (dias)				
	0	2	4	6	8
Testemunha	0,00 a	1,31 a	3,29 a	3,89 b	6,93 a
Filme PVC	0,00 a	1,05 a	2,00 a	7,17 b	3,32 a
Cera de abelha	0,00 a	3,34 a	2,73 a	12,06 a	6,64 a

Tabela 3- Perda de peso (%) de frutos de tomates submetidos a atmosfera modificada e cobertura comestível em diferentes períodos de armazenamento.

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância.

4 | CONCLUSÕES

1. A cera de abelha conseguiu manter baixa taxa de respiração (TR) por um maior período de armazenamento que o filme PVC, com 100,81 na taxa da TR no sexto dia de armazenamento.

2.O revestimento de cera de abelha foi mais eficiente que o filme PVC em manter maior firmeza de polpa dos frutos.

3.O revestimento de filme PVC foi mais eficiente que a cera de abelha em reduzir a perda de massa dos frutos.

REFERÊNCIAS

AGOSTINI, J. S. et al. **Atmosfera modificada e condições de armazenamento nas características físico-químicas de jaboticabas da cultivar 'paulista'**. Ciência Rural, Santa Maria, v.39, n.9, p.1-8, 2009.

BARRETO, A. R. M. et al. **Efeito de coberturas à base de fécula de mandioca, lecitina de soja e cera de abelha na perda de massa e cor de tomates durante o amadurecimento**. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis/SC, p. 1-8, 2014.

CERQUEIRA, T. S. et al. **Recobrimento de goiabas com filmes protéicos e quitosana**. Bragantia, Campinas, v. 70, n. 1, p. 216-221, 2011.

CRISPIM, J. E. et al. **Determinação da taxa de respiração em sementes de soja pelo método da titulação**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.29, n.10, p.1517-1521, 1994.

FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Faostat: colheitas**. Roma, 2013. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anco>> Acesso em: 8 de dezembro de 2015.

FRÁGUAS, R. M. et al. **Storage of guavas cv. Pedro Sato coated with low molecular weight chitosans**. Brazilian. Journal. Of. Food Technology, Campinas, v. 21, 2018.

HEINE, A. J. M. et al. **Número de haste e espaçamento na produção e qualidade do tomate**. Scientia Plena, v. 11, n. 9, 2015.

LIMA, F. V. et al. **Postharvest of lychee'Bengal'treated with ethylene and 1-methylcyclopropene**. Ciência Rural, Santa Maria, v.41, n. 7, p. 1143-1149, 2011.

MIZOBUTSI, G. P. et al. **Conservação de pinha com uso de atmosfera modificada e refrigeração**. Ceres, Viçosa, v. 59, n. 6, p.1-7, 2015.

MOHR, L. C. et al. **Estudo da concentração de fécula de mandioca na utilização em filmes biodegradáveis para o recobrimento de tomates**. Blucher Chemical Engineering Proceedings, Florianópolis/SC, v. 1, n. 2, p. 3254-3261, 2015.

SARMENTO, D. H. A. et al. **Armazenamento de banana 'Prata Catarina'sob temperatura ambiente recobertas com fécula de mandioca e PVC**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 28, n. 2, p. 235-241, 2015.

TOSNE, Z. L. et al. **Efecto de recubrimiento de almidón de yuca y cera de abejas sobre el chontaduro**. Ingresar a la revista, Popayán, v. 12, n. 2, p. 30-39, 2014.

MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DE CAIXAS COLETORAS DE DRENAGENS URBANAS NA REGIÃO DO PORTO DE PELOTAS/RS

Marciano Carneiro

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPG em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais, Porto Alegre – Rio Grande do Sul

Milton Cruz Fernandes

Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Pelotas – Rio Grande do Sul

Angélica Cirolini

Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Pelotas – Rio Grande do Sul

Alexandre Felipe Bruch

Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Pelotas – Rio Grande do Sul

Lenon Silva de Oliveira

Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Pelotas – Rio Grande do Sul

Gabriel da Silva Pontes

Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Pelotas – Rio Grande do Sul

RESUMO: O processo de urbanização no Brasil de maneira geral se desenvolveu desordenadamente, onde a infraestrutura urbana nem sempre acompanhou o crescimento da ocupação dos lotes. Na cidade de Pelotas, a preocupação com a infraestrutura urbana ocorreu desde sua declaração como vila, sendo que a partir dos anos de 1900 foram realizados os primeiros projetos para a construção de drenagens urbanas. Nesse contexto são conhecidos parte dos

problemas de alagamentos em Pelotas e estes relacionados com a condição geomorfológica da cidade, com terrenos amplamente planos e a distribuição da infraestrutura de drenagem urbana. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa é mapear e avaliar a distribuição de caixas coletoras de drenagem urbana como indicio de determinação de possíveis pontos de alagamento. A metodologia do trabalho foi baseada na construção de mapas de densidade, hipsométricos e de suscetibilidade através de um Sistema de Informações Geográficas. Primeiramente foi realizado o aerolevanteamento com veículo aéreo não tripulado – VANT a partir do qual se gerou um mosaico das fotos. Sobre o mosaico foi delimitada a área de estudo e vetorizadas as quadras e ruas. Também foram levantados em campo os pontos onde constam caixas coletoras, para isso utilizou-se um receptor de sinal GNSS. Os pontos foram importados para o SIG onde foram gerados os mapas de densidade e suscetibilidade. Os resultados demonstram que na área de estudo existem 119 caixas coletoras, distribuídas em geral nas esquinas e/ou cruzamentos de ruas. Em várias quadras não existem caixas coletoras, principalmente nas ruas Benjamim Constant, Almirante Tamandaré e Uruguai. Já as ruas com a melhor distribuição são a Almirante Barroso e Gomes Carneiro. Também ficou evidente que a topografia apresenta

declividade no sentido Noroeste/Sudeste, devendo-se utilizar este parâmetro na avaliação das possíveis áreas de alagamento, sendo estas mapeadas e sugeridas no trabalho. Por fim, o trabalho também diagnosticou que apesar de várias quadras possuírem uma boa distribuição de caixas coletoras, muitas apresentam uma baixa conservação estrutural, prejudicando o escoamento.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem Urbana, Alagamentos, Caixas Coletoras.

ABSTRACT: The urbanization process in Brazil has generally developed in a disorderly manner, where urban infrastructure has not always kept pace with the growth of land occupation. In the city of Pelotas, the concern with urban infrastructure has occurred since its declaration as a village, and from the 1900s were the first projects for the construction of urban drainage. In this context, part of the problems of flooding in Pelotas are known and related to the geomorphological condition of the city, with broadly flat terrain and the distribution of urban drainage infrastructure. Thus, the objective of this research is to map and evaluate the distribution of urban drainage collection boxes as an indication of possible flooding points. The work methodology was based on the construction of density, hypsometric and susceptibility maps through a Geographic Information System. Firstly, the Unmanned Aerial Vehicle - UAV aerial lift was performed, from which a mosaic of the photos was generated. Over the mosaic was delimited the study area and vectorized the blocks and streets. The points where collection boxes are also collected in the field, for this a GNSS signal receiver was used. The points were imported into the GIS where the density and susceptibility maps were generated. The results show that in the study area there are 119 collection boxes, generally distributed at street corners and / or intersections. In several blocks there are no collection boxes, especially in the streets Benjamim Constant, Almirante Tamandaré and Uruguai. The streets with the best distribution are Almirante Barroso and Gomes Carneiro. It was also evident that the topography is sloping towards Northwest / Southeast, and this parameter should be used to evaluate possible flooding areas, which are mapped and suggested in the work. Finally, the work also diagnosed that although several blocks have a good distribution of collection boxes, many have a low structural conservation, hindering the runoff.

KEYWORDS: Urban Drainage, Flooding, Collection Boxes.

1 | INTRODUÇÃO

A densa ocupação urbana e a falta de planejamento são mencionados como os principais fatores causadores de problemas ambientais. Nesse contexto, Andrade e Santos (2009) evidenciam os alagamentos urbanos como os principais resultados de ocupações urbanas densificadas, irregulares e/ou ainda com falta de planejamento ambiental e sanitário.

A cidade de Pelotas/RS é naturalmente suscetível a eventos de alagamentos, visto que está situada em uma região com clima subtropical úmido, com pluviosidades

mensais médias próximas a 150mm (SILVA, 2007). O fator climático aliado aos terrenos relativamente planos da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, propiciam as condições ideais para a ocorrência de alagamentos em sistemas pluviais subdimensionados, mal projetados ou com falta de manutenção/conservação (SOUZA, 2006).

Sendo assim, foi realizado um trabalho de revisão bibliográfica, calcado na pesquisa de Xavier (2010), onde se verifica a preocupação dos gestores públicos com a questão do saneamento da cidade. Para tanto, remonta-se a origem da cidade, onde no ano de 1780 teve início a instalação da primeira charqueada nas margens do canal São Gonçalo, começando então a se desenvolver o que hoje é a cidade de Pelotas/RS. Já a condição Freguesia com o nome de São Francisco de Paula foi adquirida em 1812 e atingindo a condição de Vila em 1832 tendo já uma Câmara de Vereadores e demais cargos públicos, finalmente chegando a condição de cidade com o nome de Pelotas em julho de 1835.

A partir deste histórico de formação da cidade de Pelotas, também foi feito o levantamento do processo de implantação do primeiro sistema de esgotos da cidade e também os problemas e as dificuldades enfrentadas até que realmente comesçassem as obras de construção das redes de água e esgotos. Isso porque a cidade vivia um momento de grande progresso com o aumento das atividades das charqueadas, e necessitava com urgência da implantação de uma rede de esgotos. Sendo conhecido o sistema primário de esgotos de Pelotas, foi realizada a delimitação da área de estudo conforme histórico de alagamentos.

Como dito, por se situar numa região plana, é amplamente suscetível a alagamentos e enchentes, e para tanto foi realizada uma delimitação da área de estudo levando em consideração o histórico de alagamentos e a região de influencia do campus Porto da Universidade Federal de Pelotas. Isto porque é uma região onde existe uma ampla circulação de pessoas, principalmente de estudantes e servidores da universidade, gerando significativos transtornos.

Por tanto, o objetivo da pesquisa é diagnosticar a densidade de caixas coletoras da drenagem pluvial da região do Porto de Pelotas e a influência da distribuição e conservação das caixas nos eventos de alagamento. Também foram realizadas delimitações dos pontos críticos de alagamento e dos locais para a implantação ou manutenção da infra-estrutura pluvial.

2 | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no bairro Centro da cidade de Pelotas/RS, no sub-bairro denominado de Porto. As coordenadas limites são 30°46'36" e 30°46'55" de latitude sul e 52°19'35" e 52°20'28" de longitude Oeste (Figura 01). A área foi delimitada considerando-se os pontos de alagamento existentes na região

(conhecidos empiricamente) e a quantidade de pessoas que circulam, visto ser um local circundado por um número significativo de prédios da Universidade Federal de Pelotas a qual fomenta um amplo transito de estudantes.

Em termos geomorfológicos, a área de estudo está inserida na Planície Costeira do Rio Grande do Sul, sendo assim a topografia é relativamente plana, com declividades predominantes inferiores a 2% a qual dificulta o escoamento da pluviosidade e favorecendo a formação de alagamentos.

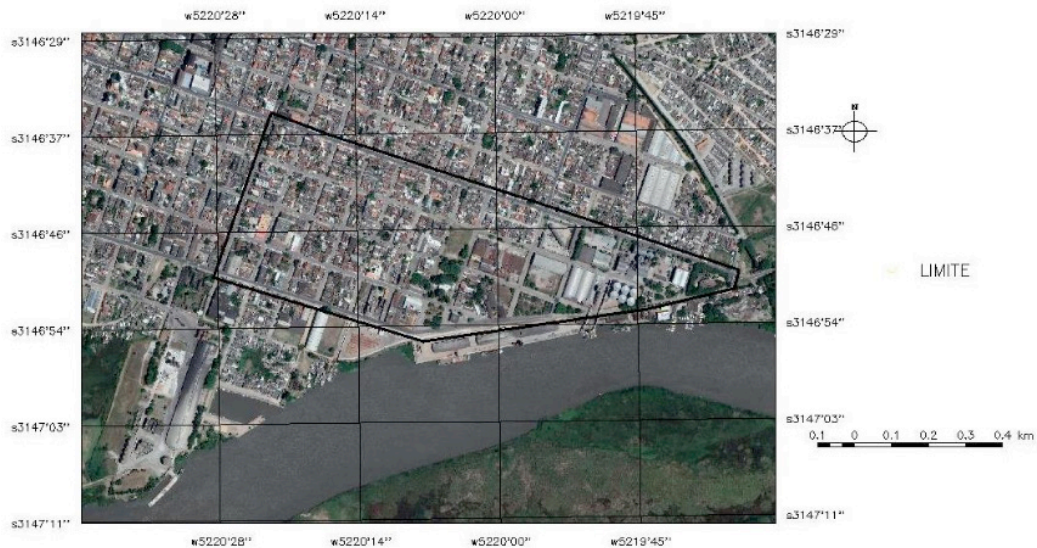


Figura 01: Mapa de localização da área de estudo

3 | METODOLOGIA

Nesta pesquisa realizou-se diversas etapas de campo e laboratório: aerolevanteamento com VANT, geração de mosaico georreferenciado, coleta de pontos de controle em campo e elaboração de processamento de dados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

3.1 Aerolevanteamento com VANT

Neste trabalho utilizou-se um VANT multirrotor fabricado pela *DJI*, modelo *Phantom 4 Advanced*, a qual possui as seguinte características:

- Peso em ordem de voo: 1368 gramas
- Autonomia de voo: 28 minutos
- Distância máxima de alcance de rádio transmissor: 5km
- Bateria: LiPo4s de 5870 mAH
- Câmera: Sensor CMOS de 20 Mega pixels
- Dimensão máxima de cada foto: 5472 x 3648 pixels

- Posicionamento Espacial: GPS + GLONASS

Optou-se pelo aerolevanteamento com trajeto pré-definido através de um plano de voo (Figura 02) construído no programa gratuito *DroneDeploy*, com as seguintes características:

- Altitude de voo: 120 metros
- Sobreposição lateral das faixas: 60%
- Sobreposição frontal das fotos: 70%
- Azimute de voo: 85°
- Velocidade máxima: 15 m/s
- Visada da câmera: Nadir
- Resolução espacial: 3cm/pixel
- Tempo de voo: 14 minutos e 55 segundos

Na definição das condições do aerolevanteamento levou-se em consideração a hora do dia e a inclinação solar, visando diminuir ao máximo a influencia da sombra na topografia e conseqüentemente nas imagens geradas, sendo o levantamento realizado às 11 horas e 50 minutos pelo horário de verão brasileiro.



Figura 02: Plano de Voo executado no *DroneDeploy*

3.2 Geração do Mosaico Georreferenciado

O processamento das imagens aéreas foi realizado no programa *PhotoScan* onde primeiramente foi feita à importação das imagens e o alinhamento das mesmas (Figura 03). Nesta etapa o programa define os parâmetros da câmera utilizada,

o Ponto Principal (pp) e a rotação das fotos. Depois do alinhamento das fotos, é gerada a nuvem de pontos homólogos e construído o Modelo Digital de Elevação (MDE). Também foi gerado um ortomosaico para o conhecimento prévio da área e a identificação dos possíveis pontos de alagamentos. O Ortomosaico e o Modelo Digital de Elevação são exportados no formato *Tagget Image File Format (TIFF)* que é reconhecido pela maioria dos programas de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

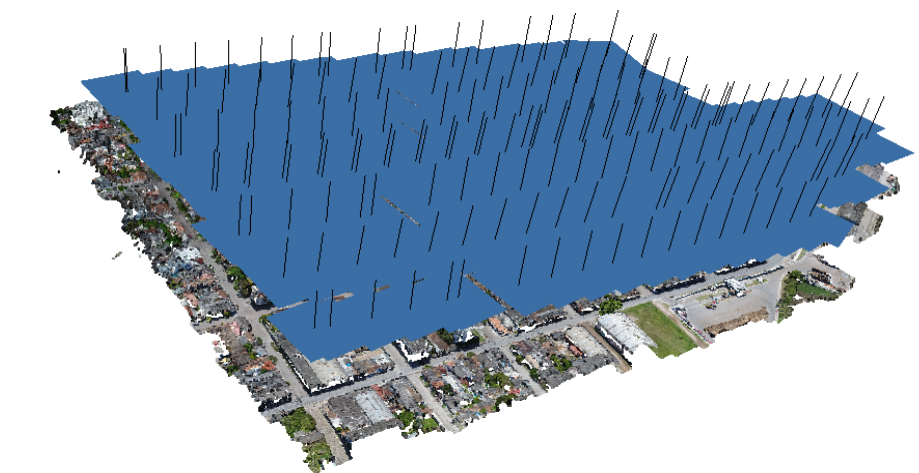


Figura 03: Alinhamento das fotos aéreas

3.3 Coleta de Pontos de Controle em Campo

Para a quantificação e consequente densificação das bocas de lobo da área de estudo, foi realizado um caminhamento pelas ruas Conde de Porto Alegre, Benjamim Constant, Almirante Tamandaré, Uruguai, Gomes Carneiro, Silveira Calheca, Boaventura Barcelos, Dr. José Barbosa Gonçalves, Dr. Antero Vitoriano Leivas, Visconde de Jaguarí, Garibaldi, Xavier Ferreira, Dona Mariana, José do Patrocínio, João Pessoa, Álvaro Chaves, Alberto Rosa e Almirante Barroso.

No caminhamento foi utilizado um receptor de sinal GNSS marca *Garmim* modelo *Etrex Vista* com precisão média de posicionamento horizontal de 6 metros, onde foram registrados todos os locais onde existiam bocas de lobo em ambos os lados ou vértices das ruas supracitadas. Os dados foram planilhados e exportados no formato *DeBaseFormat* (DBF). Também foram feitos registros fotográficos das condições estruturais das bocas de lobo.

4.4 Banco de Dados SIG

Para o desenvolvimento da pesquisa e o processamento dos dados de campo, utilizou-se o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING 5.5. Primeiramente foi criado um banco de dados com os limites da área de estudo e importado o ortomosaico no formato *TIFF* para um modelo de dados Imagem. Também foi importado o Modelo Digital de Elevação como ferramenta de interpretação da

topografia local.

No banco de dados também foi criado um modelo de dados temático para onde foi importada a planilha DBF com os pontos das bocas de lobo coletados em campo. Os pontos foram sobrepostos ao ortomosaico e ao MDE e verificados os vazios e/ou áreas com ausência de bocas de lobo.

Buscando especializar os dados, foi gerado o mapa de densidade de pontos por cota/distância através da ferramenta estatística de Densidade por Kernel a qual estipula o distanciamento da origem até o ponto de densidade mínima em uma progressão Difusa (Lógica *Fuzzy*). A dimensão espacial das células da matriz foi determinada em 10m e o intervalo *Fuzzy* limitado a 8 Bits em 256 possibilidades.

Por fim, com base nos mapas de pontos, de densidade, no MDE e no Ortomosaico foram definidas as seções de quadras as quais apresentam a menor densidade de bocas de lobo ou até ausência, sugerindo locais para os investimentos em drenagens pluviais.

4 | RESULTADOS

Os problemas com alagamentos na cidade de Pelotas/RS são críticos e amplamente conhecidos e discutidos pela população. Entre os vários fatores que fomentam a existência de alagamentos podemos citar a topografia, o dimensionamento das tubulações de escoamento, as estações de bombeamento (quando existentes e necessárias), o dimensionamento das caixas coletoras (bocas de lobo), a densidade de caixas coletoras e a distribuição destas. Esta pesquisa se concentra principalmente no mapeamento da distribuição das caixas coletoras, buscando assim inferir os locais mais suscetíveis à ocorrência de alagamentos.

Mas com o intuito de compreender minimamente a direção preferencial do escoamento pluvial antes de ser canalizado pelas bocas de lobo devemos avaliar a topografia local. A topografia do sitio urbano de Pelotas repousa sobre os terrenos da Planície Costeira, a qual se formou através de sucessivos eventos regressivos e transgressivos do Oceano Atlântico. Os sedimentos que formaram essa extensa planície são oriundos das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares existentes no Escudo Sul-Riograndense, as quais foram intemperizadas e transportadas pelas drenagens para a sua borda leste. Após a abertura do Oceano Atlântico, em processo de *rifteamento*, inicia a formação de um cordão litorâneo que começa no sudeste de Santa Catarina e termina no nordeste do Uruguai. Esse cordão litorâneo foi intensamente retrabalhado por quatro eventos regressivos e transgressivos do Oceano Atlântico. Esses eventos foram causados por amplas variações climáticas globais que interferiram no aumento e diminuição do nível dos mares (HOLZ e De ROS, 2000).

Nesse contexto a morfologia dos terrenos na região do sitio urbano de Pelotas

apresentam uma diversidade de genética relacionada a ambientes flúvio-lagunar e praias. Na morfologia praial destacam-se as paleodunas com registros ainda visíveis, as quais são identificados através de mudanças abruptas nas cotas topográficas, onde as cotas sofrem um acréscimo próximo a 10 metros. Exemplo destas formas é o alinhamento topográfico existente na cidade de Pelotas, iniciando no sentido norte na Avenida Bento Gonçalves e indo até a Rua Conde de Porto Alegre ao sul. Já os limites oeste são a Rua Marcílio Dias e o leste a Rua Gonçalves Chaves.

Na direção noroeste-sudeste a partir da Rua Gonçalves Chaves, formou-se uma planície em rampa oriunda da interface flúvio-lagunar atuante desde o holoceno. Sendo assim, as na região centro-porto as maiores cotas estão a noroeste com redução altimétrica na direção sudeste, em uma morfologia de rampa. Na área de estudo as maiores cotas ($\pm 4\text{m}$) estão próximas ao entroncamento entre as ruas Almirante Barroso e Gomes Carneiro e as menores cotas ($\pm 2\text{m}$) estão nas proximidades da Rua Conde de Porto Alegre e o entroncamento com a Rua Benjamim Constant, quase em frente a portaria da Superintendência de Portos e Hidrovias de Pelotas (Figura 04).

As cotas encontradas são concordantes com a evolução morfológica da Planície Costeira nessa região, formando uma planície em rampa a partir dos terrenos mais elevados em direção às drenagens e canais mais próximos, o canal de São Gonçalo.

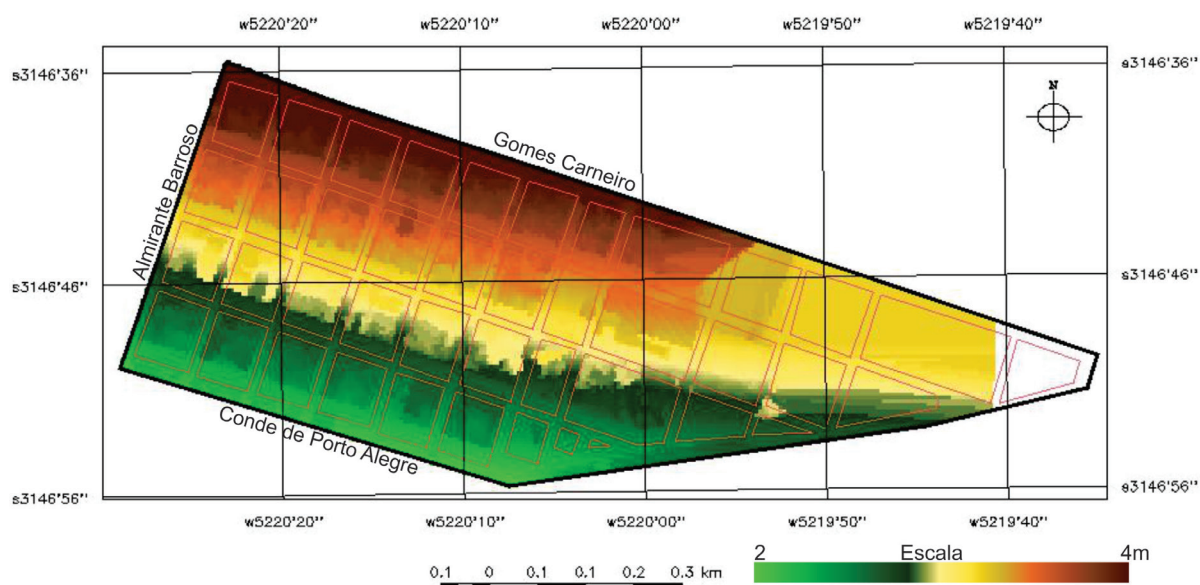


Figura 04: Mapa Hipsométrico da área de estudo

A próxima etapa da pesquisa concentrou-se no levantamento das caixas coletoras situadas na área de estudo. Foi realizado o levantamento de receptor de sinal GNSS com precisão de 6m, sendo mapeadas 119 bocas de lobo (Figura 05). Também foram analisadas as dimensões médias das quadras, sendo que o comprimento médio das faces das quadras é de 73,51 metros, com a menor face encontrada apresentando

15m (próximo à praça da antiga Alfândega) e a maior face (195 m) na quadra da usina de asfalto da Prefeitura Municipal de Pelotas.

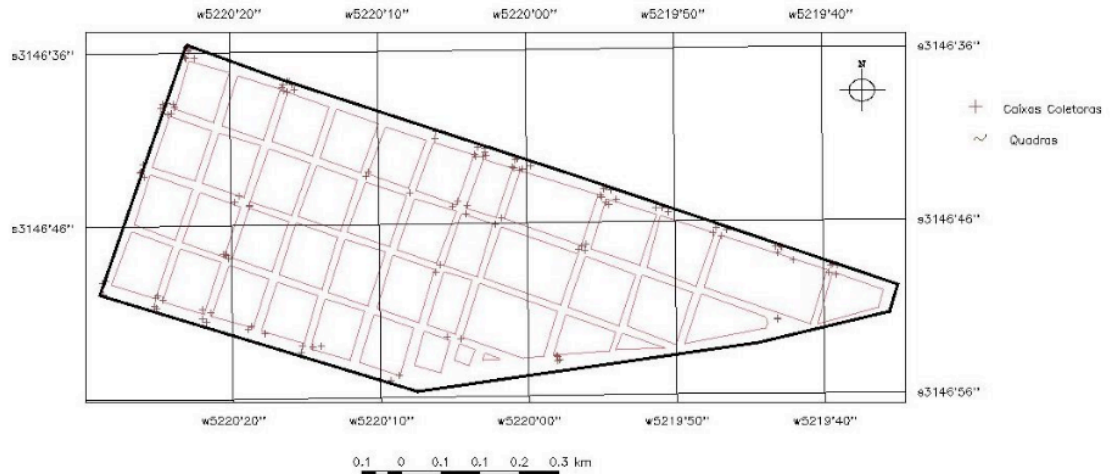


Figura 05: Caixas coletoras existentes na área de estudo.

Cabe destacar que das 119 bocas de lobo encontradas, 118 estão em esquinas ou distâncias inferiores a 3 metros destas, sendo apenas 1 caixas coletora encontrada em meio de quadra, próximo a usina de asfalto da Prefeitura Municipal de Pelotas. A distribuição das bocas de lobo encontradas em campo é concordante com o relatório da secção de águas e esgotos de 1916, onde era prevista a localização das caixas coletoras nas esquinas das principais ruas (Figura 06). Destaca-se que aparentemente em todos os cruzamentos de ruas da área de estudo estavam previstas bocas de lobo, sendo que a possível ausência destas na atualidade refere-se a alterações no projeto ou falta de manutenção/conservação.

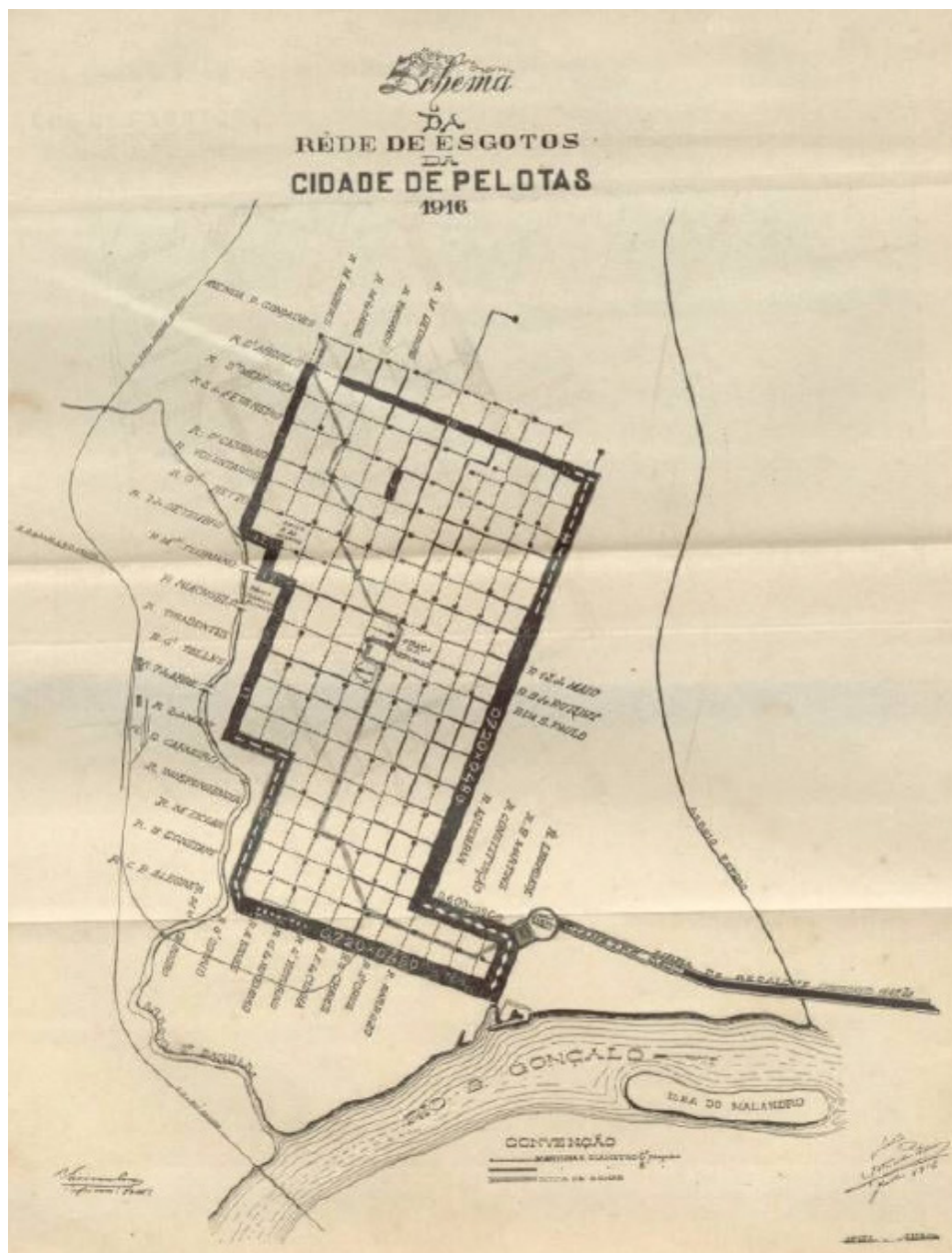


Figura 06: Projeto de linha de águas e esgotos de Pelotas em 1916. Fonte: Xavier (2010)

Tendo como base os pontos levantados em campo, foi confeccionado o mapa com a densidade de bocas de lobo existentes na área de estudo. Ficou evidente que existe uma baixa densidade de caixas coletoras, sendo que deveria existir pelo menos uma por face ou esquina de quadra (XAVIER, 2010). A maior parte das bocas de lobo estão localizadas na Rua Gomes Carneiro e Almirante Barroso (Figura 07), sendo encontradas até 8 caixas coletoras por cruzamento de ruas.

Também foi encontrada uma boa distribuição na Rua Conde de Porto Alegre, principalmente próximo ao cruzamento com a Rua Almirante Barroso. Já na região mais central da área de estudo, principalmente nas ruas Benjamim Constant, Almirante Tamandaré e Uruguai, a densidade de bocas de lobo é baixa, sendo que em várias quadras é zero. Em alguns pontos existe uma sequencia de 3 quadras onde não existem bocas de lobo.

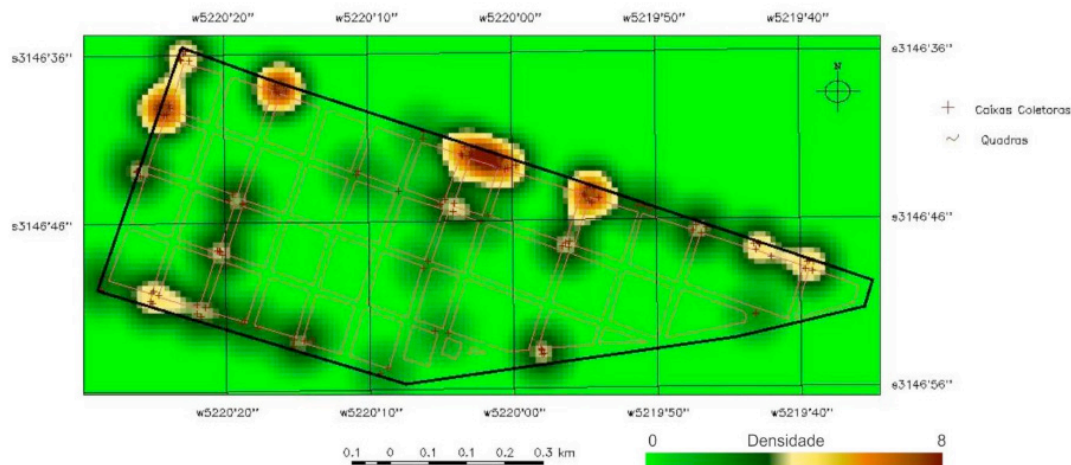


Figura 07: Densidade de bocas de lobo na área de estudo.

Tendo por base a matriz de distribuição de caixas coletoras, foi elaborado um mapa hipsométrico com a densidade por quadra (Figura 08). Este mapa tem como objetivo principal demonstrar quais quadras não apresentam bocas de lobo e assim susceptíveis a ocorrer alagamentos, mesmo com pequenas precipitações. Os principais problemas estão localizados no centro da área de estudo, em quadras próximas a antiga alfândega e ao Instituto de Ciências Humanas da UFPel. Salienta-se que como o padrão de instalação de bocas de lobo implementado pelo projeto de águas e esgotos de Pelotas de 1916 prevê a locação em esquinas com o coleta de drenagem pluvial de meia quadra, a matriz de densidade foi seccionada perante ao projeto técnico original.

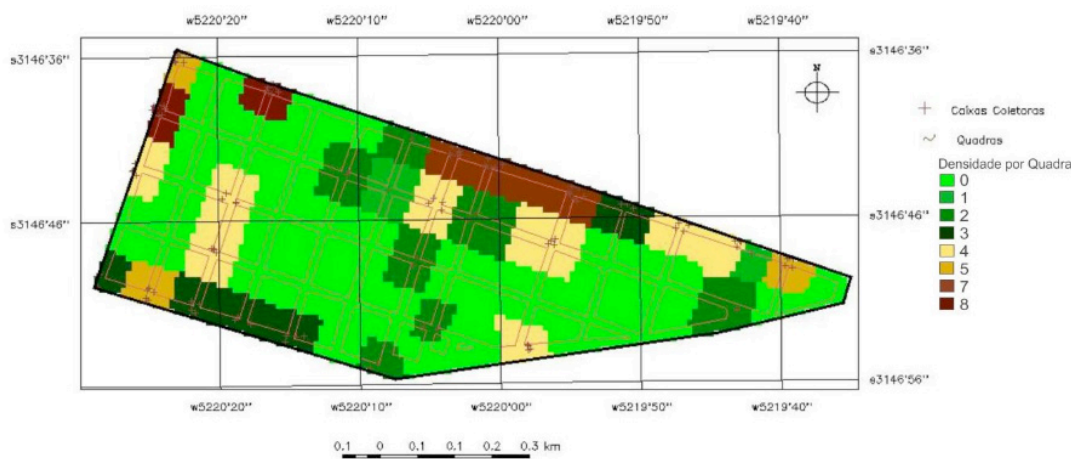


Figura 08: Mapa de densidade de caixas coletoras por face de quadra.

Também foi elaborado o mapa com as ruas mais suscetíveis a alagamentos tendo por referências as quadras com ausência de caixas coletoras. Deve-se salientar que a susceptibilidade a alagamentos foi correlacionada com a ausência de caixas coletoras, o que não isenta as outras áreas de ocorrer o fenômeno, visto que as bocas de lobo podem não fornecer vazão suficiente para o escoamento da pluviosidade. No

mapa de suscetibilidade a alagamentos (Figura 09), pode-se verificar que as principais ruas suscetíveis a alagamentos são a Benjamim Constant, Almirante Tamandaré, em áreas próximas a antiga alfândega, SPH-Porto e o Instituto de Ciências Humanas da UFPel.

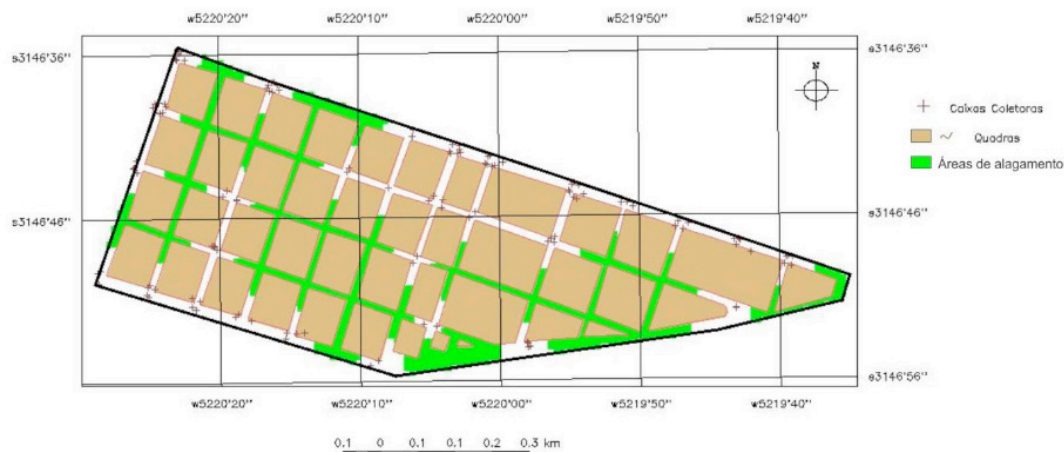


Figura 09: Mapa de áreas mais suscetíveis a alagamentos.

Em termos de conservação, o trabalho de campo demonstrou que existem várias bocas de lobo com sua estrutura comprometida, onde parte do escoadouro está quebrado ou atulhado com resíduos de construção ou lixo (Figura 10). Essa condição de conservação acaba por dificultar ou até impedir o escoamento das águas pluviais, fomentando o surgimento de alagamentos. Sendo assim, podem até ocorrer alagamentos com baixa pluviosidade em locais com alta densidade de caixas coletoras, visto as condições estruturais não favorecerem o escoamento, causando alagamentos (Figura 11).



Figura 10: Boca de Lobo em mau estado de conservação.



Figura 11: Alagamento na rua Almirante Barroso. Fonte: Diário Popular (2018).

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa procurou demonstrar os problemas com alagamentos na região do Porto de Pelotas, pois vários anos vem sofrendo com o problema e sem parâmetros quantitativos e espaciais diagnosticando suas origens. Ficou evidente que a administração pública municipal a mais de 100 anos planejou e implementou a rede de esgotamento da cidade e também mais especificamente na área de estudo, conforme os projetos relatados.

Ficou diagnosticado nesta pesquisa que provavelmente o projeto original não foi totalmente implementado ou houve alterações nas caixas coletoras que deveriam existir em todas as esquinas das quadras mapeadas. Também se avaliou a concentração de parte das caixas coletoras mapeadas, onde que em certos cruzamentos de ruas existem 8 bocas de lobo e em outras nenhuma.

As ruas com maior densidade de bocas de lobo são a Gomes Carneiro e Almirante Barroso e com a menor densidade as ruas Benjamim Constant, Almirante Tamandaré e Uruguai. Estas últimas, por intervalos de até três quadras, não foram encontradas caixas coletoras. Também se deve destacar que várias bocas de lobo mapeadas estavam em más condições de conservação, tanto estrutural quanto de acumulo de lixo, o que leva a dificultar o escoamento da pluviosidade.

Sendo assim, este trabalho pode sugerir através de um conjunto de mapas, as áreas mais suscetíveis a alagamentos e com isso inferir sobre as áreas primordiais em investimentos públicos em caixas coletoras. Também se comprovou que as ferramentas de geoprocessamento foram uteis e geraram resultados acurados comparáveis com as verdades adquiridas em campo.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R; SANTOS, M. Análise dos problemas de drenagem urbana nos bairros Vila Operária e Aeroporto, Teresina. in: **Congresso do Instituto Federal de Alagoas**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI, Teresina Piauí. 2009.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Curso de Capacitação de Técnicos Municipais para Prevenção e Gerenciamento de Riscos de Desastres Naturais**. Vitória./ES. 2017. Acesso em 05/12/2018. Disponível em: <https://defesacivil.es.gov.br/Media/defesacivil/Capacitacao/Material%20Did%C3%A1tico/CBPRG%20-%202017/Processos%20Hidrol%C3%B3gicos%20-%20Inunda%C3%A7%C3%B5es,%20Enchentes,%20Enxurradas%20e%20Alagamentos%20na%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20C3%81reas%20de%20Risco.pdf>.

Diário Popular, **Jornal Pelotas-Rs**. fevereiro. 2018.

HOLZ, M & DE ROS, L. F. eds. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Edição CIGO/UFRGS, Porto Alegre, 2000. 444 p.

SANEAMENTO DE PELOTAS. Projetos e Relatórios. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1944.

SILVA, C. S. **Inundações em Pelotas/RS: O uso de geoprocessamento no planejamento paisagístico e ambiental**. Dissertação (Mestrado programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007. 196p.

SOUSA, C.A.T. Sistema de Drenagem e Proteção Contra Enchentes da Cidade de Pelotas. **Apresentação ao SANEP/PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS**, PELOTAS. 2006. 41p.

XAVIER, J. S. **Saneamento de Pelotas (1871-1915): o patrimônio sob o signo de modernidade e progresso**. Dissertação (Mestrado programa de pós-graduação em Memória e Patrimônio Cultural) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS. 2010. 355p.

SOBRE O ORGANIZADOR

Helenton Carlos da Silva - Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2007), especialização em Gestão Ambiental e Desenvolvimento Sustentável pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (2010) é MBA em Engenharia Urbana pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (2014), é Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Estadual de Ponta Grossa (2016), doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa e pós-graduando em Engenharia e Segurança do Trabalho. A linha de pesquisa traçada na formação refere-se à área ambiental, com foco em desenvolvimento sem deixar de lado a preocupação com o meio ambiente, buscando a inovação em todos os seus projetos. Atualmente é Engenheiro Civil autônomo e professor universitário. Atuou como coordenador de curso de Engenharia Civil e Engenharia Mecânica. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em projetos e acompanhamento de obras, planejamento urbano e fiscalização de obras, gestão de contratos e convênios, e como professor na graduação atua nas seguintes áreas: Instalações Elétricas, Instalações Prediais, Construção Civil, Energia, Sustentabilidade na Construção Civil, Planejamento Urbano, Desenho Técnico, Construções Rurais, Mecânica dos Solos, Gestão Ambiental e Ergonomia e Segurança do Trabalho. Como professor de pós-graduação atua na área de gerência de riscos e gerência de projetos.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adsorção 38, 39, 202, 203, 204, 205, 206, 208, 209, 210

Agregado artificial 1, 11, 13

B

Biomassa 47, 49, 52, 54

Bloco estrutural 13, 20

C

Cimento Portland 3, 113, 120

Concreto reciclado 1, 13, 15

Controle estrutural 77, 80, 84, 85

Corrosão 202, 203

D

Desperdícios 127, 135, 140, 142

Dinâmica estrutural 190, 191, 200

Drenabilidade 55, 56, 57, 58, 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68

Drenagem urbana 218, 219, 231

E

Energia 14, 27, 38, 43, 47, 52, 53, 54, 96, 97, 98, 103, 115, 126, 127, 133, 232

Ensino 139, 190, 232

F

Farinha de mandioca 47, 49, 50, 52, 54

I

Índice de confiabilidade 153, 154, 155, 156, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 165, 166

Inovação 76, 122, 124, 125, 126, 127, 232

Irrigação 99, 100, 108

M

Madeira 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 51, 52

N

Nanossílica 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121

P

Pozolana 109, 110

Propriedade mecânica 25, 27

Propriedades físicas 25, 26, 27, 28, 71, 111

R

Resíduos 1, 2, 4, 10, 12, 13, 14, 15, 19, 22, 23, 47, 49, 52, 53, 54, 69, 70, 71, 72, 74, 76, 110, 208, 229

Resíduos de pneu 13, 15

S

Sílica de casca de arroz 109, 110, 111, 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120

Solução analítica 144, 151

Sustentabilidade 1, 14, 24, 35, 74, 127, 138, 142, 232

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-701-7



9 788572 477017