



As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)


Ano 2021



As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª 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. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Aleksandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 As engenharias agregando conhecimento em setores emergentes de pesquisa e desenvolvimento / Organizadores Franciele Braga Machado Tullio, Lucio Mauro Braga Machado. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-769-7

DOI 10.22533/at.ed.697211102

1. Engenharia. I. Tullio, Franciele Braga Machado (Organizador). II. Machado, Lucio Mauro Braga (Organizador). III. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

A obra “As Engenharias Agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento” contempla vinte capítulos em que os autores abordam suas pesquisas aplicadas nos mais diversos setores da engenharia.

Pesquisas relacionadas a propriedades físico-químicas de materiais e desenvolvimento de novos produtos com a finalidade de aplicar na indústria.

Desenvolvimento de novos materiais e aplicação de inteligência artificial para utilização na medicina também são abordados.

Geração de energia, desenvolvimento de projetos sustentáveis e tratamento de efluentes são assuntos em evidência no meio acadêmico.

Por fim, estudo sobre a gestão de projetos de obras de arte especiais com a finalidade de auxiliar os gestores na tomada de decisões e intervenções nas mesmas.

Esperamos que esta obra promova ao leitor o desejo de desenvolver ainda mais estudos, agregando mais conhecimento em setores de pesquisa e desenvolvimento. Boa leitura!

Franciele Braga Machado Tullio
Lucio Mauro Braga Machado

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

CONSTRUÇÃO DE IMPELIDORES POR MANUFATURA ADITIVA: UMA METODOLOGIA PARA O ENSINO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS

Tadeu Henrique Aparecido da Silva

Monica Taís Siqueira D'Amelio

DOI 10.22533/at.ed.6972111021

CAPÍTULO 2..... 17

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ E PERÓXIDO NO ÓLEO DE FRITURA UTILIZADO NO REFEITÓRIO DO IFMT – CAMPUS CONFRESA

Fábio Gonçalves Marinho

Felipe Gimenes Rodrigues Silva

Ulisses Alberto Rodrigues da Silva

Milton Fantinell Junior

Carlos Bonfim Gonçalves Marinho

Geovana Rodrigues Soares

DOI 10.22533/at.ed.6972111022

CAPÍTULO 3..... 22

ESTUDO DA SEDIMENTAÇÃO DESCONTÍNUA DE CaCO_3 E Ca(OH)_2 EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES VISANDO A SEPARAÇÃO DE PARTICULADO

Dinalva Schein

Carolina Smaniotto Fronza

Gabriela Aline Kroetz Bremm

Isaac dos Santos Nunes

Andréia Monique Lermen

Naiara Jacinta Clerici

Paula Gabriela Dalla Porta

Suelyly Ribeiro Hollas

DOI 10.22533/at.ed.6972111023

CAPÍTULO 4..... 33

FUNCIONALIZAÇÃO DO TERPOLÍMERO ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO COM ANIDRIDO MALEICO – UMA REVISÃO DA LITERATURA

Carlos Bruno Barreto Luna

Danilo Diniz Siqueira

Eduardo da Silva Barbosa Ferreira

Edson Antonio dos Santos Filho

Edcleide Maria Araújo

DOI 10.22533/at.ed.6972111024

CAPÍTULO 5..... 54

ANÁLISE DE DESGASTE NAS LASTRINAS DA CAIXA MATRIZ NA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Tiago da Silva Fernandes

Anderson Daleffe

DOI 10.22533/at.ed.6972111025

CAPÍTULO 6..... 68

ANÁLISE QUÍMICA E ÂNGULO DE CONTATO DE FILMES FORMADOS POR BLENDA DE POLIESTIRENO/POLI(CAPROLACTONA) FOTODEGRADADAS POR LUZ ULTRAVIOLETA

Catarina Barbosa Levy

Maria Oneide Silva de Moraes

Walter Ricardo Brito

João de Deus Pereira de Moraes Segundo

DOI 10.22533/at.ed.6972111026

CAPÍTULO 7..... 75

APLICAÇÃO DE NANOBIMATERIAIS NO TRATAMENTO DE FERIDAS

Rayanne Cornelio Silva Carvalho

Deuzuita dos Santos Freitas Viana

Vicente Galber Freitas Viana

DOI 10.22533/at.ed.6972111027

CAPÍTULO 8..... 87

INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE FERROCARBONILA EM MATERIAIS ABSORVEDORES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Cecília Maia Corsato

Nicholas Eras Fonseca

Bruno Ferraz Donati

Gustavo Freitas de Souza

Rademaks Bento de Oliveira

Valdirene Aparecida da Silva

DOI 10.22533/at.ed.6972111028

CAPÍTULO 9..... 96

INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO RECICLADAS EM COMPÓSITO CONCRETO

Gabriela T. Santiago

Matheus Vosgnach

Vinício Ceconello

Edson Francisquetti

Mara Andrade Zeni

DOI 10.22533/at.ed.6972111029

CAPÍTULO 10..... 105

ANÁLISE DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO SOLAR DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA LOCALIDADES NO BAIXO TOCANTINS – PA

Marinaldo de Jesus dos Santos Rodrigues

Silvio Bispo do Vale

Tatiane Perna Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.69721110210

CAPÍTULO 11	117
SIMULAÇÃO ENERGÉTICA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR DO AR EM AGÊNCIAS BANCÁRIAS	
Alexandre Fernandes Santos Jeová Alves Diniz Junior Heraldo José Lopes de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.69721110211	
CAPÍTULO 12	131
USO DO SISTEMA DX (EXPANSÃO DIRETA) PARA SISTEMAS GEOTÉRMICOS EM CURITIBA	
Alexandre Fernandes Santos Paulo Henrique Colombo Heraldo José Lopes de Souza Fabio Francisco Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.69721110212	
CAPÍTULO 13	143
MÉTODOS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA APLICADOS NA CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEIS DE APNEIA UTILIZANDO SINAIS DE ELETROCARDIOGRAMA	
João Pedro dos Santos Silva Pedro Henrique dos Santos Almeida Letícia Chaves Lima Cananéa Helder Alves Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.69721110213	
CAPÍTULO 14	153
ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE CONTROLE VOLUMÉTRICOS E DINÂMICOS EM SISTEMAS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS	
Juliana Gomes da Silva Savio Raider Matos Sarkis	
DOI 10.22533/at.ed.69721110214	
CAPÍTULO 15	173
UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO MULTICRITÉRIO NO PROCESSO DE DECISÃO DE PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AMAZÔNIA AZUL	
Andrezza de Oliveira Agápito Dalessandro Soares Vianna Marcilene de Fátima Dianin Vianna Edwin Benito Mitacc Meza	
DOI 10.22533/at.ed.69721110215	
CAPÍTULO 16	185
IMPLANTAÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM COMPLEXO ALIMENTÍCIO INDUSTRIAL	
Yuri de Oliveira Godoy	

Aldo Muro Júnior

DOI 10.22533/at.ed.69721110216

CAPÍTULO 17..... 196

AVANÇOS PARA MELHORIA DA RESISTÊNCIA À INCRUSTAÇÃO EM MEMBRANAS DE ULTRAFILTRAÇÃO COM POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS OLEOSAS: uma revisão

Victor José Romão dos Santos

Suellen Cristine Meira

DOI 10.22533/at.ed.69721110217

CAPÍTULO 18..... 211

ANÁLISE PROBABILÍSTICA E DETERMINÍSTICA DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM BARRAGEM DE TERRA DO ESTADO DO CEARÁ

Fernando Feitosa Monteiro

Andressa de Araujo Carneiro

Yago Machado Pereira de Matos

Giovanna Monique Alelvan

DOI 10.22533/at.ed.69721110218

CAPÍTULO 19..... 222

A GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS MUNICIPAIS: CONCEPÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL DE BANCO DE DADOS APLICADO ÀS PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS

André Felipe Bozio

Vivian da Silva Celestino Reginato

DOI 10.22533/at.ed.69721110219

CAPÍTULO 20..... 240

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DO PORTO MARAVILHA, RIO DE JANEIRO: TRANSFORMAÇÕES URBANAS

Amanda Martins Marques da Silva

Gisele Silva Barbosa

Patricia Regina Chaves Drach

Eduardo Praun Machado

Victor Marques Zamith

DOI 10.22533/at.ed.69721110220

SOBRE OS ORGANIZADORES 255

ÍNDICE REMISSIVO..... 256

CAPÍTULO 1

CONSTRUÇÃO DE IMPELIDORES POR MANUFATURA ADITIVA: UMA METODOLOGIA PARA O ENSINO DE OPERAÇÕES UNITÁRIAS

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 06/11/2020

Tadeu Henrique Aparecido da Silva

Universidade São Francisco
Bragança Paulista - SP
<http://lattes.cnpq.br/6033039791120888>

Monica Taís Siqueira D'Amelio

Universidade São Francisco
Bragança Paulista - SP
<http://lattes.cnpq.br/0347184334616712>

RESUMO: Na Engenharia Química uma das áreas mais atuantes no mercado de trabalho são as operações unitárias, dentro destas a de agitação e mistura, na qual o estudo das correntes formadas por ela é bem complexo. Por isso, este projeto desenvolveu o uso de impelidores impressos, em impressora 3D, para a identificação de correntes e a busca de uma metodologia experimental de ensino. Foram projetados e impressos quatro diferentes impelidores, que após estudo e teste, observou-se a diferença das correntes em cada tipo e um método adequado de identificá-las. Por fim, foi proposto um roteiro de aula para ser aplicado na componente curricular de Laboratório de Operações Unitárias da Universidade São Francisco, o qual inclui desde a escolha do tipo de impelidor, o projeto, impressão e determinação das correntes.

PALAVRAS-CHAVE: Agitação e mistura; ensino; impressão 3D.

CONSTRUCTION OF IMPELLERS BY ADDITIVE MANUFACTURING: A METHODOLOGY FOR TEACHING UNIT OPERATIONS

ABSTRACT: In Chemical Engineering, one of the most important areas in the labor market is unit operations, within these the Agitation and Mixing, in which the study of the currents formed by it is very complex. Therefore, this project developed the use of printed impellers, in 3D printers, for the identification of currents and the search for an experimental teaching methodology. Four different impellers were designed and printed, which after study and test, the difference of currents in each type and an appropriate method of identifying them were observed. Finally, a lesson script was proposed to be applied in the curricular component of the Unitary Operations Laboratory of the University of São Francisco, which includes from the choice of the type of impeller, the design, printing and determination of the currents.

KEYWORDS: Agitation and mixing; teaching; 3D printing.

1 | INTRODUÇÃO

Para um estudante de engenharia química a experiência prática é de fundamental importância para seu desenvolvimento profissional, no qual consegue visualizar os processos que este poderá gerenciar. A pesquisa leva ao estudante se aproximar da teoria e assim levá-lo a um rico conhecimento e de forma clara do que este estuda durante o

curso.

No caso de processos que envolvam a Operação Unitária de agitação e/ou mistura o engenheiro químico deve ter conhecimento amplo, desde o desenvolvimento do agitador até seu funcionamento, uma vez que este é uma operação unitária presente em muitos processos industriais.

Dentro das Operações Unitárias destaca-se a de agitação e mistura. A agitação consiste no movimento induzido em um sistema para um fim específico. Destaca-se que a agitação consiste em uma operação com uma fase só. Duas ou mais fases, com o objetivo de homogeneizá-las, tem-se uma mistura (McCabe, 1993).

Para entender todo esse processo é importante o estudo de um agitador. O agitador possui três componentes principais: impelidor (eixo e impulsores), rotor (motor e redutor de velocidade) e um tanque (ver Figura 1). Podem ser colocadas chicanas para melhorar o sistema, diminuindo os vórtices, por exemplo (Tadini et al., 2018).

Estes devem ser bem projetados para que não haja a formação de vórtices e de zonas mortas, o que diminui a qualidade do processo. Ademais, os impelidores precisam promover uma agitação rápida e eficiente. Este projeto é bastante complexo diversos aos fatores que influenciam no sistema (PERRY, 2008).

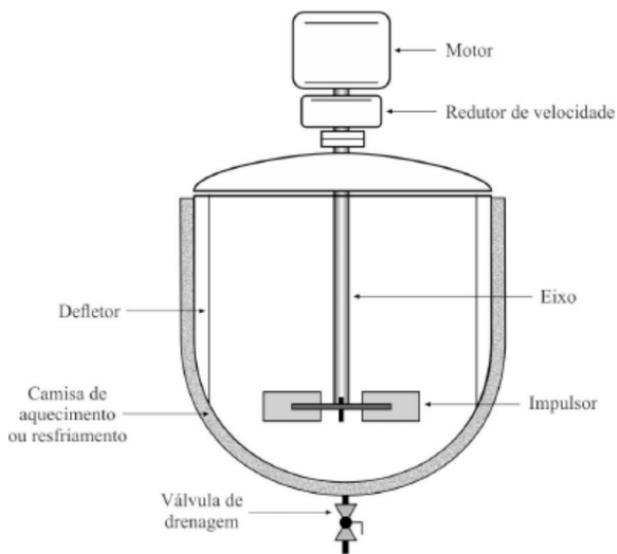


Figura 1. Esquema de um tanque com agitador

Fonte: Tadini et al., 2018.

Apesar de o equipamento utilizado para essas operações unitárias ser o mesmo, o tipo de impelidor é diferente, pois o objetivo de cada sistema é diferente. A influência do

impelidor no meio é determinante para que o equipamento realize seu funcionamento com a melhor eficiência.

A escolha do impelidor depende do fluxo das correntes desejadas, fazendo com que haja misturadores com impelidores diferentes para que misturem conforme as correntes de fluxo. Para isso, deve-se conhecer os diversos tipos de impelidores e os tipos de fluxo de correntes e assim correlaciona-los.

Fasano (1994) destaca quatro tipos mais comuns quando se fala de impelidores e ressalta que diversos fatores, incluindo o regime de fluxo predominante, são determinantes para a escolha do impelidor adequado ao sistema. Colocando o fator de escoamento através do Número de Reynolds (NRe), Fasano (1994) apresenta a relação dos Impelidores e suas aplicações como pode se observar no Quadro 1.

Aplicações de Impelidores		
Tipos de Impelidores	Faixas de NRe Preferenciais	Aplicações Recomendadas
Três lâminas, alta eficiência 	≥ 100	<ul style="list-style-type: none"> Mistura de líquidos miscíveis Suspensão de sólidos Transferências de calor
Quatro lâminas, 45° inclinado 	≥ 10	<ul style="list-style-type: none"> Retirada de sólidos de superfície ou gás Dispersões de viscosos imiscíveis líquido-líquido e gás-líquido
Quatro lâminas, Planas 	≥ 1	<ul style="list-style-type: none"> Mistura local no fundo do tanque Mistura na faixa transicional do NRe (de $1 < NRe < 500$) Agitação durante a retirada do vaso
Seis lâminas, Disco 	≥ 1	<ul style="list-style-type: none"> Mistura intensa de gás-líquido Fina dispersão de líquidos imiscíveis Reações rápidas em semi-batelada

Quadro 1. Aplicação dos Impelidores mais usuais.

Adaptado de Fasano et al., 1994.

Além destes ressaltam-se os impelidores do tipo Âncora, os quais apresentam características únicas que o destaca dentre os outros. Estes são impelidores que geram movimento tangencial, pois produz movimento circular lento do meio ao redor da parede do tanque de mistura e utilizado em meio muito viscoso (Spogis, 2002).

Tipo	Rotação RPM	Aplicação
Agitador tipo hélice plana (Pitch Blade 45°)	60-100	Líquidos com viscosidades até 7.000 cP. Dispersão e manutenção da suspensão. 1 ou 2 Hélices com 2 ou 4 pás com ângulo de 45°. Fluxo axial, movimento de convecção.
Agitador tipo hélice radial	60-100	Líquidos com viscosidade até 7.000 cP. Manutenção da suspensão. 1 ou 2 Hélices com 2 ou 4 pás verticais. Deve ser usado com quebra-ondas. Fluxo radial.
Agitador tipo ancora	20-60	Cremes, produtos viscosos acima de 7.000 cP. Aquecimento e resfriamento sem queima de produto nas paredes. Com ou sem raspadores de Teflon. Fluxo radial. Pode ser combinado com tipo Pitch Blade para produzir movimento axial.

Quadro 2. Relação dos Agitadores com a Viscosidade do meio

Adaptada de: MMC Equipamentos, 2020.

A viscosidade é um dos fatores que determinam a escolha do impelidor. O Quadro 2 apresenta a relação entre os impelidores escolhidos nesse projeto, com a indicação da rotação e da viscosidade do meio a ser utilizado.

Analisando o Quadro 2 verifica que os impelidores de hélice plana como o *Pitch Blade 45°* e o radial são usados para a mesma viscosidade, porém geram fluxos diferentes. Já o impelidor do tipo Âncora normalmente opera em regime laminar, ou seja, misturar produtos de alta viscosidade (Spogis, 2002). Logo é preciso analisar cada tipo de fluxo.

Os fluxos gerados em um sistema de agitação e mistura são três: axial, radial e tangencial.

Fluxo Axial são correntes geradas pelo impelidor que ocorrem paralelas ao seu eixo, pode-se observá-la na Figura 2:

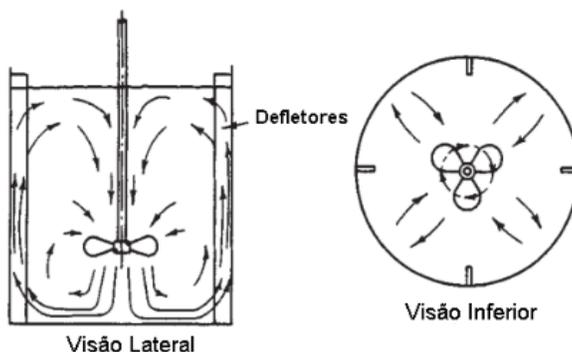


Figura 2. Representação da corrente axial

Adaptado de: Perry, et al., 2008.

Neste caso, o fluxo tem um padrão de sair do impelidor e retornar, em relação à parte central das lâminas (Perry, 2008).

Fluxo Radial são correntes geradas pelo impelidor que ocorrem paralelas às pás do próprio impelidor (Perry, 2008). Este sistema pode ser observado na Figura 3:

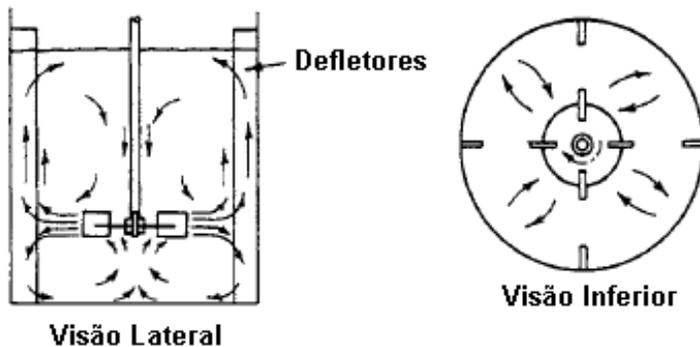


Figura 3. Padrão de fluxo típico em um tanque perplexo com uma hélice de fluxo radial posicionada no centro

Adaptado de Perry, et al., 2008.

Fluxo Tangencial ocorre quando o impelidor gera um fluxo circular e impulsiona o meio em direção em torno da parede do tanque, normalmente ocorre em regime laminar, pode-se observar o seu padrão de fluxo na Figura 4. Este tipo de fluxo promove a formação de vórtices, o que é prejudicial ao sistema. Para minimizá-los, são adicionadas chicanas ao tanque (McCabe, 1993).

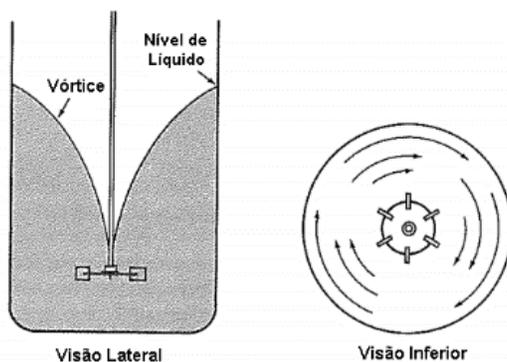


Figura 4. Misturador com fluxo tangencial

Adaptado de: McCabe, et al., 1993.

Manufatura Aditiva para melhoria do sistema de ensino

A manufatura aditiva tem sido uma das mais interessantes novas metodologias de ensino. Segundo Schelly e colaboradores (2015), esta tecnologia tem o potencial de trazer novas experiências para a sala de aula e de mudar a visão dos alunos de meros consumidores de produtos e agentes passivos na aquisição de conhecimento, para agentes ativos na construção de novos produtos, além de chamar a atenção daqueles que têm dificuldades com métodos tradicionais de ensino.

A manufatura aditiva é um processo que permite a criação de formas geométricas por meio da adição de materiais, normalmente através de empilhamento de camadas do material, seu princípio se baseia no fato de que qualquer objeto, teoricamente, poder ser fatiado em camadas e posteriormente ser reconstruído com elas, independentemente de sua complexidade (Figura 5).

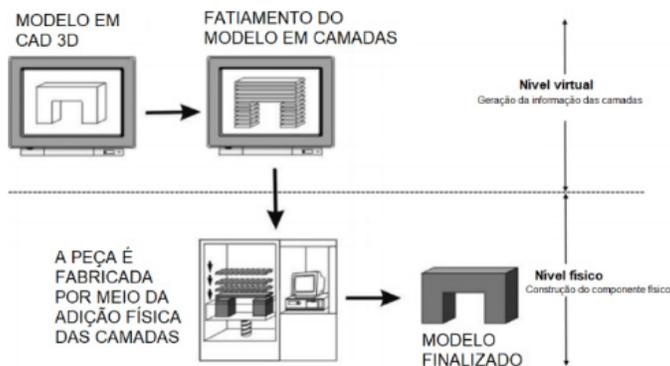


Figura 5. Conceito de manufatura aditiva.

Adaptado de GEBHARDT e HÖTTER, 2016.

Sua praticidade leva o estudante mais perto de equipamentos industriais ou peças específicas que não seriam viáveis em sala de aula (Gebhardt e Hötter, 2016). Este projeto estudou quatro diferentes impelidores, identificando o melhor sistema, através da manufatura aditiva. Ao término, foi proposta uma metodologia de estudo da agitação e mistura em forma de projeto, a ser implementado na componente curricular de Laboratório de Operações Unitárias da Universidade São Francisco (USF), contribuindo para a maior qualidade do ensino da graduação do curso de Engenharia Química.

2 | METODOLOGIA

A metodologia deste projeto foi dividida em duas partes distintas. A primeira foi o

estudo dos impelidores e a segunda a montagem de uma metodologia de aula experimental de agitação e mistura.

Parte 1 – Estudo dos impelidores

No projeto dos impelidores foram selecionados três diferentes tipos de impelidores: um tipo pá reta 90°, um tipo pá reta 45° e dois do tipo âncora sendo um chapado e outro cruzado, sendo para verificar diferentes meios de agitação e mistura.

Foi utilizado o *software* AutoCAD® para dos impelidores. A impressão dos impelidores foi realizada na Impressora 3D Zmorph 2.0 SX disponível no Campus Bragança Paulista da Universidade São Francisco.

O material utilizado para a impressão foi o ABS de alta densidade (Figura 6), devido à necessidade que ele fosse resistente a altas rotações e a forças de arraste e centrífuga no agitador. A configuração de impressão foi máxima densidade, o que os tornou bem mais resistentes.



Figura 6. Filamentos de ABS alta densidade.

Assim que impressos, foram testadas sua resistência em dois tipos de rotores: primeiro em um *mixer* utilizado para fabricação de cremes no laboratório de química da USF e depois em uma furadeira Tork devido à sua alta potência e força. No segundo teste com a furadeira também foi realizado em água para verificar sua resistência às forças contidas em um tanque com um meio aquoso.

Para o estudo das correntes formadas foram realizados vários testes com cada impelidor, esses testes foram gravados e através do *software* Kinovea®, foi possível rastrear as partículas colocadas no meio aquoso e perceber o fluxo formado em cada um dos testes realizados.

Parte 2 – Metodologia de ensino de aula experimental de Agitação e Mistura

A metodologia desenvolvida foi baseada na vivência do autor para desenvolver o projeto e estudo das correntes. Foi proposto um projeto disciplinar para ser realizado em etapas durante todo o semestre da componente curricular Laboratório de Operações Unitárias e será aplicado nos três Campus da Universidade.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parte 1 – Viabilidade de Impressão de Impelidores por manufatura aditiva

A revisão bibliográfica realizada auxiliou no desenvolvimento teórico da metodologia a ser empregada e permitiu definir *a priori* 4 tipos de impelidores para o estudo: tipo pá Reta, um com pá 90° e outro com pá 45° e outros dois do tipo âncora, sendo um chapado e outro cruzado.

Para determinar a dimensão dos impelidores, foi conhecido os limites da impressora, a qual possui limite de altura de 15 cm. A partir desta condição de contorno, os impelidores foram desenhados. Também se definiu um padrão para todos os impelidores em função da altura através da Tabela 1.

Dimensões (cm)	
Altura do Impelidor	15
Diâmetro do Eixo	1
Largura máxima	11
Espessura da Pá	0,3
Comprimento da pá	5

Tabela 1. Dimensões padrões para a impressão.

Para manter as dimensões padrões propostas cada impelidor foram realizadas algumas adaptações como, por exemplo, no impelidor pá 45° foi necessário desenhar uma base quadrada para que fosse possível colocar o ângulo proposto no eixo. No impelidor âncora, foi colocada uma haste de suporte.

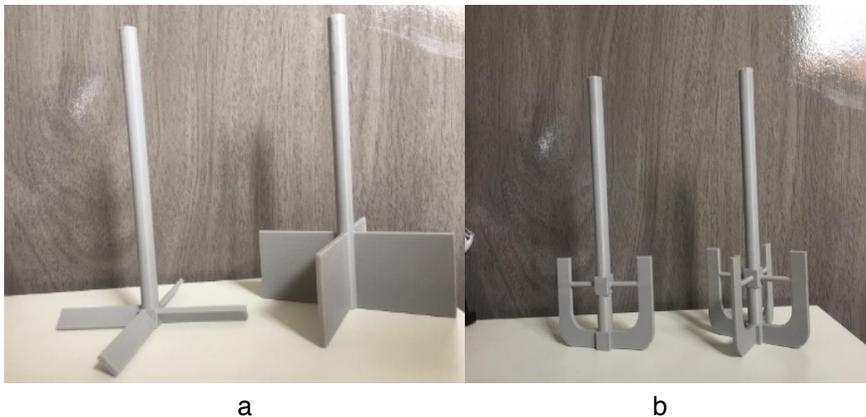


Figura 7. a) Impelidores impressos do tipo pá reta 45° e 90°, b) Impelidores do tipo âncora impressos.

A Figura 7 apresenta os impelidores após a impressão com manufatura aditiva. Os impelidores foram testados com dois tipos de rotores. O primeiro, com baixa rotação e o segundo, uma furadeira, com o objetivo de verificar a estabilidade da estrutura dos impelidores. Todos os impelidores apresentaram boas características para essas atividades.

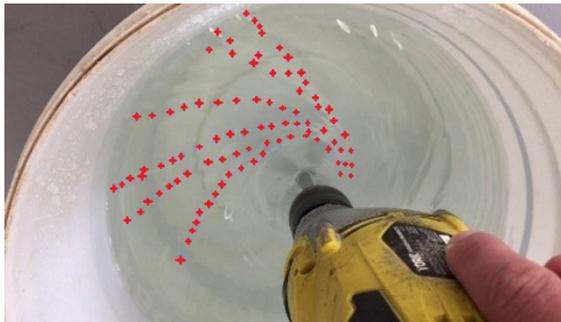


Figura 8. Teste de visualização no Software Kinovea.

A Figura 8 apresenta o resultado obtido com o software Kinovea® para rastrear as partículas colocadas no sistema e identificar a corrente gerada.

As correntes radiais e axiais foram parcialmente visíveis no recipiente opaco, já a tangencial foi preciso um recipiente translucido para que houvesse visualização. De início foi testado em um balde branco opaco onde pode-se analisar correntes axiais e radiais e depois em um balde plástico transparente para a visualização das correntes tangenciais.

Também foi importante verificar a possibilidade de tanques diferentes, por exemplo os impelidores do tipo âncora são conhecidos como raspadores porque devem ter de largura

95% da largura de um tanque, neste caso testar em béqueres com soluções viscosas.

Parte 2 – Metodologia de Ensino experimental

O objetivo da metodologia proposta consiste no estudo das diferentes correntes promovidas por diferentes impelidores. Para tal, os alunos projetarão um agitador caseiro. Sugere-se a utilização de uma furadeira ou parafusadeira, ou outro equipamento adequado como rotor.

Em seguida, será realizada a escolha do impelidor e do tanque para que possa ser projetado em *software* as medidas adequadas do impelidor, considerando os limites de impressão da Impressora 3D. O estudo das correntes poderá ser através do rastreamento das partículas com o *software* Kinovea® ou com corantes.

O método foi escolhido como projeto disciplinar, devido à impressão dispende cerca de 2 a 4 horas para cada peça. Os testes e o estudo das correntes poderão ser realizados na residência do aluno ou em laboratório.

A seguir está apresentada a metodologia desenvolvida:

A sala será dividida em grupos de 4 a 6 integrantes. Será dividido ou sorteado um tipo de impelidor diferente para cada equipe e ela terá de estudar sobre o impelidor e calcular suas respectivas dimensões de acordo com as predefinições dadas ao grupo para a impressão e posteriores cálculos.

Primeiramente, o aluno dimensionará o impelidor correspondente ao seu grupo, de acordo com as especificações do projeto. O dimensionamento deve ocorrer através do desenho do impelidor em softwares próprios para tal função como *SolidWorks*® ou *AutoCAD*®, este último é disponível nos computadores da USF. O aluno terá um período de 15 dias para o envio ao Docente.

O dimensionamento deve ter alguns parâmetros universais para todas as duplas, como a impressora 3D têm um limite de impressão de 15 cm de altura, este será o tamanho máximo que poderá dimensionar o impelidor. Também é necessário atentar-se ao diâmetro do eixo, para que possam testá-los em diferentes rotores, por isso sugere-se que o eixo tenha 1 cm de diâmetro para eixos cilíndricos e 1 cm de lado para eixos quadrados.

Sugerem-se os seguintes impelidores:

Pá Reta 90° - O dimensionamento do impelidor tipo pá reta 90° deve ser focado na altura e na largura da pá, porque as 4 pás devem ter o mesmo tamanho e elas não podem ser muito altas para que joguem o líquido para fora do tanque. Mas também não devem ser muito baixas para que não haja resistência e consigam movimentar o líquido formando correntes. O dimensionamento sugerido está na Tabela 2.

Dimensões (cm)	
Altura do Impelidor	15
Diâmetro do Eixo	1
Altura da Pá	2,5
Largura da Pá	0,3
Comprimento da pá	5

Tabela 2. Dimensões sugeridas para o impelidor Pá Reta 90°.

Pá Reta 45° - O dimensionamento da pá reta 45° deve ser focado nas pás terem o ângulo desejado mantendo a altura e a largura das pás iguais. As 4 pás devem ser do mesmo tamanho e posicionadas corretamente para que o ângulo de 45° exista. Uma forma é o corpo do eixo ser cilíndrico, porém na base das pás ser cúbica para que as pás consigam ser posicionadas. A sugestão é que use as dimensões da Tabela 4 com exceção da altura da pá que deve ser de 1 cm.

Tipo Âncora - O dimensionamento da pá tipo âncora deve ser focado na sua estrutura, como ela tem somente duas hélices e as pás são em outro formato, deve haver um suporte cilíndrico que a mantenha estável durante a rotação, segue também um exemplo do formato na Figura 9.



Figura 9. Desenho do impelidor tipo âncora.

Na Tabela 3 que há o dimensionamento sugerido, e além dele sugere-se que da mesma forma que no impelidor pá reta 45°, a base e a posição do suporte podem ser cúbicas para melhor alinhamento e impressão das pás laterais.

Dimensões (cm)	
Altura do Impelidor	15
Diâmetro do Eixo	1
Altura da Pá	5
Largura da Pá	1
Comprimento da pá	3
Comprimento do suporte	2
Espessura da pá e do Suporte	0,3

Tabela 3. Dimensões sugeridas para o impelidor tipo Âncora.

Após aprovação do Docente em relação ao dimensionamento, o aluno converterá o arquivo em extensão **.stl** e o docente enviará todos os desenhos para a impressão avisando previamente o técnico do Centro de Tecnologia (CT) das engenharias e o responsável da impressora. Os impelidores devem ser enviados para o setor de impressão antecipadamente, para que passe pelo *Software* exclusivo da impressora.

O material utilizado para a impressão deve ser o ABS de alta densidade, devido à necessidade que ele seja resistente a altas rotações e que resista a forças de arraste e centrífuga no agitador. A configuração de impressão deve ser de máxima densidade, o que os torna bem mais resistentes. Após impressos os impelidores, o Docente os devolverá a cada grupo para que possam realizarem os testes caseiros.

Os testes caseiros servem para que o aluno entenda o processo de agitação e mistura, e a formação dos tipos de correntes derivados do seu tipo de hélice. Cada grupo pode usar materiais caseiros para a realização dos testes, como por exemplo uma furadeira no lugar do rotor, um balde ou um recipiente de fundo redondo (ele deve manter o formato redondo até o topo para a visualização das correntes).

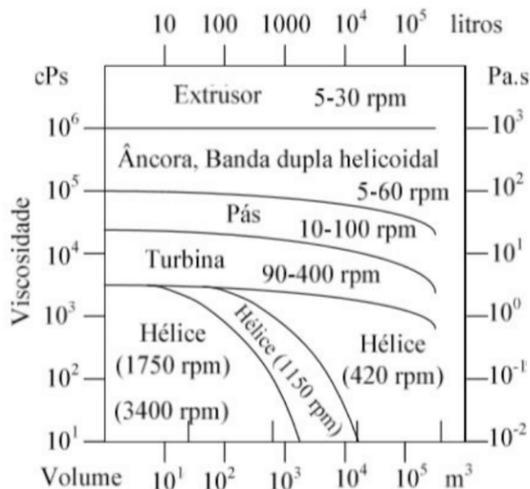


Figura 10. Ábaco impelidor x viscosidade x volume

Adaptado de: PENNY, 1970.

O meio deve ser escolhido adequadamente de acordo com o tipo de impelidor, pois cada um é próprio de um nível de viscosidade diferente, conforme ábaco apresentado na Figura 10, o qual mostra a relação entre volume, viscosidade e os tipos de impelidores. Desta forma, pode-se estudar diferentes tipos de meios a partir dos impelidores.

Definido meio, recipiente e rotor, o aluno testará o impelidor projetado por ele e identificará o tipo de fluxo e a formação de sua corrente. Fará o registro em formato fotográfico ou em vídeo e apresentado no relatório final. Para a identificação do fluxo, o aluno pode realiza-lo visualmente utilizando corantes ou através de *softwares* como o Kinovea®, gratuito, o qual rastreia uma partícula no meio e permite traçar a trajetória, como na Figura 8 que apresenta uma trajetória definida pelo *software*.

Após os testes o aluno comparará os resultados obtidos com os da literatura e apresentar discussão a respeito. Deverá verificar se o seu impelidor está nas dimensões corretas e apresentar os resultados obtidos, se não estiver deverá apresentar um novo cálculo e uma estimativa de como seria o dimensionamento correto e o desenho dele, este será o resultado obtido a partir dos testes.

Com o conhecimento obtido sobre o seu tipo de impelidor, sobre o tipo de meio específico e o seu fluxo de corrente, o aluno fará o projeto do agitador que poderia ser usado com seu impelidor e em que meio. Por exemplo, projetar um agitador que misture cremes com um impelidor tipo âncora.

Para o dimensionamento do agitador são necessárias as seguintes informações: as dimensões, o volume útil e volume total do tanque, a densidade e viscosidade do produto. Então, será dividido em duas partes o dimensionamento do tanque e seus elementos e o

do rotor e seus elementos, como a potência.

Tanque - Deve-se considerar o tipo e localização do impulsor, as proporções do vaso, o número e as dimensões dos deflectores, entre outras variáveis (MCCABE, 1993).

Tadini (2018) diz que “a semelhança geométrica entre o projeto e o agitador é essencial para garantir as semelhanças cinéticas e dinâmicas”. É preciso estabelecer uma semelhança completa entre os dois sistemas, e estas são estabelecidas por relações simples entre as variáveis de projeto.

Outro ponto importante é que as relações definem a altura do líquido no tanque (H), então a altura do tanque deverá ser maior, para que não seja lançado o meio para fora do tanque. A partir das dimensões definidas você terá a seguinte Tabela 4 preenchida, segue exemplo:

Dimensões (cm)	
Altura do Impelidor	15
Diâmetro do Eixo	1
Altura da Pá (W)	2,5
Largura da Pá	0,3
Comprimento da pá (L)	5
Diâmetro total do impelidor (Da)	11
Diâmetro do Tanque (Dt)	33
Altura do Líquido no tanque (H)	33
Largura da Chicana (J)	2,8
Altura da Pá em relação ao fundo do tanque (E)	11

Tabela 4. Dimensões do Sistema agitado.

Rotor - Na agitação de um líquido existem variáveis como a potência fornecida pelo motor (P_o) que será em função da densidade (ρ) e da viscosidade (μ) do meio, a rotação do impelidor (N) e do diâmetro do agitador (D_a). Estas são relacionadas através de números adimensionais de potência (N_{Po}) (Equação 1), de Reynolds (N_{Re}) (Equação 2) e de Froude (N_{Fr}) (Equação 3):

$$N_{Po} = \frac{P_o}{N^3 D_a^5 \rho} \quad (1)$$

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu} \quad (2)$$

$$N_{Fr} = \frac{N^2 D_a}{g} \quad (3)$$

Ressalta-se que o número de Froude (N_{Fr}) é considerado somente quando há

formação de vórtice. Essa questão se revela para questões em que o $NRe > 300$ e para tanques sem defletores (chicanas).

Para o cálculo do número de Potência são consideradas as curvas de NPo em função do número de Reynolds. Estas já são pré-determinadas experimentalmente e em função dos diferentes tipos de agitadores.

Para finalizar o projeto do agitador, o aluno deverá entregar os Números de Potência (NPo), de Reynolds (NRe) e de Froude (NFr) e um desenho em software do agitador. Sugestão que tudo isso seja entregue ao professor em formato de Relatório Técnico.

4 | CONCLUSÃO

Em relação ao estudo das correntes, nos primeiros testes dos impelidores de pá reta foram perceptíveis os fluxos radiais e axiais devido ao meio ser água que favorece em pás retas, já com as hélices do tipo âncora não foram nítidas inicialmente, mas mudando a dimensão, formato e translucidez foi possível a visualização da corrente tangencial, tudo isso levando a adquirir conhecimento na área de agitação e mistura.

Os testes iniciais permitiram traçar linhas de estudos de metodologias para aplicação em aula práticas. Ademais, foram observadas novas possibilidades de estudo para este projeto como adicionar chicanas aos estudos das correntes.

A partir do projeto observa-se que o estudo dos impelidores impressos aditivamente é um método eficiente para o aprendizado do estudante de engenharia química através de uma metodologia ativa, pois faz este obter o conhecimento de todo o processo de desenvolvimento, dimensionamento e fora que o faz ter contato com a produção do impelidor de forma inovadora que é a impressão 3D, algo que só tende a ser a cada vez mais utilizado em todos os processos possíveis por sua facilidade, praticidade e rentabilidade.

REFERÊNCIAS

FASANO, J.B., BAKKER, A., PENNEY, W.R **Advanced impeller geometry boosts liquid agitation**. Chemical Engineering, p. 110-6, Aug.1994.

GEBHARDT, A.; HÖTTER, J.S. **Additive Manufacturing: 3D Printing for Prototyping and Manufacturing**, Munique: Carl Hanser Verlag, 2016.

MCCABE, WARREN L. SMITH, J.C. HARRIOT, P. **Unit Operations of Chemical Engineering**. 5. ed. McGraw-Hill, Inc., 1993.

MMC Equipamentos. MMC Tecnologia, 2020. **Agitadores para líquidos**. Disponível em: < <http://www.mmcequipamentos.com.br/folderAgitadores.htm> >. Acesso em: 28 de fevereiro de 2020.

PENNY, W.R. **Guide to trouble free mixers**. Chem. Eng., Vol.77, No.12, 1970, p.171.

PERRY, ROBERT H. **Perry's chemical engineers' handbook**. 7. Ed. McGraw-Hill, Inc. 2008.

SCHELLY, C.; ANZALONE, G.; WIJNEN, B.; PEARCE, J.M. **Open-source 3-D printing technologies for education: Bringing additive manufacturing to the classroom**. Journal of Visual Languages & Computing, v. 28, p. 226-237, 2015.

SPOGIS, N. **Metodologia para determinação de curvas de potência e fluxos característicos para impelidores axiais, radiais e tangenciais utilizando a fluidodinâmica computacional**. 2002. (Dissertação de Mestrado - Engenharia Química) – UNICAMP, Campinas, 2002.

TADINI, Carmen C. **Operações unitárias na indústria de alimentos**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

TATTERSON, G.B. **Scale-up and Design Industrial Mixing Process**. McGraw-Hill, Inc., 1994.

CAPÍTULO 2

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ACIDEZ E PERÓXIDO NO ÓLEO DE FRITURA UTILIZADO NO REFEITÓRIO DO IFMT – CAMPUS CONFRESA

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 16/11/2020

Fábio Gonçalves Marinho

Instituto Federal de Mato Grosso
Confresa - MT
<http://lattes.cnpq.br/6866338372352213>

Felipe Gimenes Rodrigues Silva

Instituto Federal de Mato Grosso
Confresa - MT
<http://lattes.cnpq.br/5294507520069538>

Ulisses Alberto Rodrigues da Silva

CEJA - Creuslhi de Souza Ramos
Confresa - MT
<http://lattes.cnpq.br/4881632229709867>

Milton Fantinell Junior

Instituto Federal de Mato Grosso
Confresa - MT
<http://lattes.cnpq.br/7952773306986608>

Carlos Bonfim Gonçalves Marinho

Instituto Federal de Mato Grosso
Confresa - MT
<http://lattes.cnpq.br/7647558861818493>

Geovana Rodrigues Soares

Instituto Federal de Mato Grosso
Confresa - MT
<http://lattes.cnpq.br/4550123613873101>

RESUMO: Óleos e gorduras podem ser definidos como uma espécie química de cadeias complexas, caracterizadas por apresentarem

três ácidos graxos ligado a um glicerol. Dentre seus vários usos, a indústria alimentícia ganha destaque, principalmente para fritura de alimentos. No entanto, os fatores do processo podem degrada-lo, formando produtos tóxicos ou cancerígenos, tais como acroleína, peróxidos, aldeídos, cetonas, radicais livres e ácidos graxos trans. O presente trabalho teve como objetivo demonstrar a qualidade do óleo reutilizado no processo de fritura do IFMT - Campus Confresa através das análises do índice acidez e peróxido. Os resultados mostraram que o índice de acidez variaram de 0,139 - 0,514 (% ácido oleico/100 g), sendo o maior resultado apresentado na amostra AO5. O índice de peróxido variaram de 3,90 – 8,00 (meq/kg). Os resultados mostram que houve alteração na composição química do óleo evidenciados pela alteração no índice de acidez e peróxido. De acordo com os resultados recomenda-se reutilizar o óleo até 3 vezes.

PALAVRAS-CHAVE: Óleo de soja, Reutilização, Índice de acidez, Índice de peróxido.

DETERMINATION OF THE ACIDITY AND PEROXIDE INDEX IN FRYING OIL USED IN THE IFMT REFEITORY - CAMPUS CONFRESA

ABSTRACT: Oils and fats can be defined as a chemical type of complex chains, characterized by having three fatty acids linked to a glycerol. Among its various uses, the food industry gains prominence, mainly for frying food. However, process factors can degrade it, forming toxic or carcinogenic products, such as acrolein, peroxides, aldehydes, ketones, free radicals and trans fatty acids. This work aimed to demonstrate

the quality of the oil reused in the frying process of the IFMT - Campus Confresa through the analysis of the acidity and peroxide index. The results showed that the acidity index ranged from 0.139 - 0.514 (% oleic acid / 100 g), the highest result being presented in the AO5 sample. The peroxide index ranged from 3.90 - 8.00 (meq / kg). The results show that there was a change in the chemical composition of the oil evidenced by the change in the acidity and peroxide index. According to the results it is recommended to reuse the oil up to 3 turn.

KEYWORDS: Soybean oil, Reuse, Acidity index, Peroxide index.

1 | INTRODUÇÃO

Os óleos e gorduras são espécies químicas de cadeias complexas, constituídas de ácidos graxos ligados a uma molécula de glicerol. Podem conter pequenas quantidades de outros lipídeos como fosfolipídeos, constituintes insaponificáveis e ácidos graxos livres, naturalmente presentes em óleo e gordura. Apresentam características físico-químicas distintas, conforme arranjo da molécula e do tipo de ligação (SILVA, MARSIGLIA e FREIRE, 2018). A diferença entre óleo (líquido) e gordura (sólida), está na saturação da cadeia. Óleos em temperatura ambiente (25 °C) apresentam-se na forma líquida, e as gorduras na forma sólida (MORETTO e FETT, 1998).

Os óleos e gorduras possuem uma série de aplicações, dentre elas destaca-se a utilização na indústria alimentícia. A determinação do ponto de descarte dos óleos de frituras é de suma importância, uma vez que, implica maior custo quando o óleo é descartado muito cedo e perda da qualidade do alimento frito quando descartado tardiamente (FREIRE et al., 2013). Dentre os principais fatores que influencia na degradação do óleo durante a fritura podemos citar: temperatura, tempo de fritura, relação superfície/volume do óleo, tipo de aquecimento, tipo de óleo, adição de óleo novo, natureza, quantidade do alimento frito e presença de contaminantes metálicos (MALACRIDA e JORGE, 2005; MACHADO et al., 2007).

Devido à complexidade do processo de fritura, não há um único método capaz de avaliar com precisão a deterioração dos óleos (MALACRIDA, 2005). Métodos rápidos e reprodutíveis, tais como: índice de acidez, índice de peróxidos são empregados para monitoramento da qualidade do óleo utilizado em processo de frituras. O processo de fritura leva a formação de produtos tóxicos ou cancerígenos, tais como acroleína, peróxidos, aldeídos, cetonas, radicais livres e ácidos graxos trans que podem ser incorporados aos alimentos (FREIRE et al., 2013).

O presente trabalho teve como objetivo demonstrar a qualidade do óleo reutilizado no processo de fritura do IFMT - Campus Confresa através das análises do índice de acidez e peróxido. Os resultados foram comparados com a legislação vigente de maneira a demonstrar o limite de reutilização.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostras de óleo

As amostras de óleo de fritura foram coletadas no refeitório do IFMT – Campus Confresa. Para o estudo foram coletadas cinco amostras, identificadas da seguinte maneira: AO0: óleo de soja virgem, AO1: coletado após primeira utilização, AO2: coletado após segunda reutilização e assim até a quinta reutilização (AO5). Conforme mostra Figura 1.

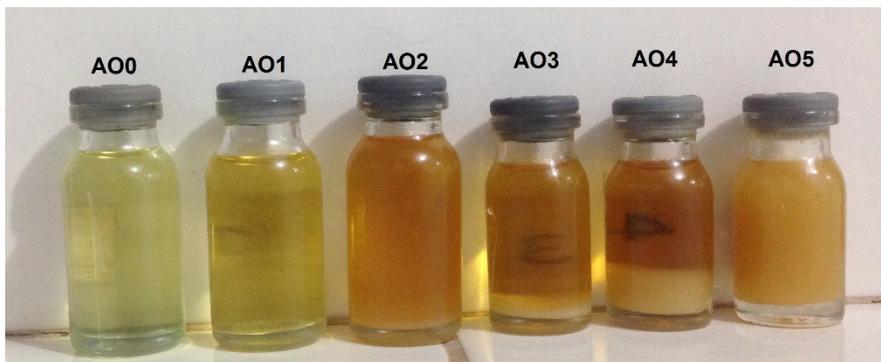


Figura 1. Amostras de óleo de fritura do refeitório do IFMT - Campus Confresa

2.2 Índice de acidez

Para a determinação do índice de acidez pesou-se 2,0 g da amostra em frasco erlenmeyer de 125 mL. Em seguida, adicionou-se 25,0 mL de solução de éter-álcool (2:1) neutra. Na sequência foram adicionadas duas gotas do indicador fenolftaleína e o conteúdo foi titulado com solução de hidróxido de sódio 0,1 M (ADOLF LUTZ, 1985). O índice de acidez foi calculado de acordo com a equação 1.

$$Ic = \frac{v \cdot f \cdot M \cdot 28,2}{p} \quad (1)$$

Onde: Ic = g ácido oléico/100g óleo; v = n° de mL de solução de hidróxido de sódio 0,01 M gasto na titulação f = fator da solução de hidróxido de sódio P = massa da amostra (g).

2.3 Índice de peróxido

Este método determina todas as substâncias, em termos de miliequivalentes de peróxido por kg de amostra, que oxidam o iodeto de potássio nas condições do teste. Para a análise pesou-se $5 \pm 0,05$ g da amostra em um frasco erlenmeyer de 250 mL, em seguida adicionou-se 30 mL da solução ácido acético-clorofórmio 3:2 e agitou o conteúdo

até a dissolução da amostra. Após adicionou-se 0,5 mL da solução saturada de KI e deixou em repouso ao abrigo da luz por exatamente um minuto. Acrescentou-se 30 mL de água e titulou com solução de tiosulfato de sódio 0,01 N, com constante agitação. A titulação foi realizada até que a coloração amarela tenha quase desaparecida. Por fim, 0,5 mL de solução de amido indicadora foi adicionada e a titulação continuou até o completo desaparecimento da coloração azul. Uma prova em branco foi preparada nas mesmas condições e titulada (AOCS, 1990). O índice de peróxido foi determinado pela equação 2.

$$Ip = \frac{(A-B).N.f.1000}{P} \quad (2)$$

Ip= Índice de peróxido em meq/kg; A = nº de mL da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N gasto na titulação; B = nº de mL da solução de tiosulfato de sódio 0,1 N gasto na titulação do branco; N = normalidade da solução de tiosulfato de sódio; f = fator da solução de tiosulfato de sódio; P = massa da amostra (g).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do índice de acidez e peróxidos estão apresentados na Tabela 1. Os resultados mostraram que houve variação no índice de acidez de 0,139 a 0,514 % ácido oleico/100 g. Essa variação pode ser atribuída as condições de frituras tais como: temperatura e tempo de fritura; relação superfície/volume do óleo; tipo de aquecimento; adição de óleo novo; natureza e quantidade do alimento frito e presença de contaminantes metálicos (MALACRIDA, 2005; MACHADO et al., 2007). O Brasil não dispõe de legislação específica que regulamente a fritura por imersão, existindo apenas o Informe Técnico nº 11 de 05/10/2004 da ANVISA (CAMILO et al, 2010). Nesse sentido, utilizou como referência o índice de acidez para óleos refinados (0,3 g de ácido oleico/100g) (SILVA et al., 2018).

Amostra	Índice de acidez (% ácido oleico/100 g)	Índice de Peróxido (meq/Kg)
AO0	0,139±0,010	3,90±0,02
AO1	0,277±0,018	3,95±0,15
AO2	0,275±0,015	4,00±0,12
AO3	0,262±0,011	6,14±0,20
AO4	0,385±0,009	7,82±0,25
AO5	0,514±0,025	8,00±0,22

Tabela 1. Índice de acidez e peróxido do óleo utilizado no refeitório do IFMT

O índice de peróxido apresentou resultado crescente com mínimo de 3,90 meq/Kg e máximo de 8,00 meq/Kg. O limite máximo estipulada pela ANVISA para óleos refinado é

de <10 Meq/Kg. Tais resultados mostram que óleo submetido ao processo de fritura vem sofrendo alterações. O índice de peróxido avaliar a oxidação, fazendo sendo sinal positivo para o aparecimento da acroleína substância cancerígena (MENDONÇA et al., 2008).

4 | CONCLUSÃO

Os resultados mostraram, que óleo utilizado no refeitório do IFMT apresentou variações nos índice de acidez e peróxido, como a ANVISA não dispõe de legislação específica para óleo de fritura, utilizou-se como referência os teores estipulados para óleos refinados. Nesse sentido recomenda-se reutilizar o óleo apenas 3 vezes, dessa forma o índice de acidez não extrapola o que a legislação recomenda para óleos refinados.

REFERÊNCIAS

AMERICAN OIL CHEMISTS' SOCIETY. **Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society**. 4th ed. Champaign, USA, AOCS, 1990. [AOCS Official method Cd 8-53].

FREIRE, P. C. M.; MANCINI FILHO, J.; FERREIRA, T. Principais alterações físico-químicas em óleos e gorduras submetidos ao processo de fritura por imersão: regulamentação e efeitos na saúde. **Revista de Nutrição**, v. 26 (3), p. 353-358, Junho, 2013.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v.1.: Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**, 3. ed. São Paulo: IMESP, 1985. p. 245-246.

MACHADO E. R.; MARMESAT, S.; ABRANTES. S.; DOBARGANES, C. Uncontrolled variables in frying studies: Differences in repeatability between thermoxidation and frying experiments. **Grasas Aceites**, v. 58(3), p. 283-8, 2007

MALACRIDA C. R, JORGE N. Alterações do óleo de soja em frituras: efeitos da relação superfície/volume e do tempo de fritura. **Hig Alimentar**, v. 19 (129), p. 25-31, 2005.

MORETTO, E; FETT, R. **Tecnologia de óleos vegetais e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1998.

SANIBAL, A. A. E; MANCINI-FILHO, J. **Alterações físicas, química e nutricionais de óleos submetidos ao processo de fritura**. Food Ingredients South American, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 64-71, 2002.

SILVA, D. S., MARSIGLIA, W I. M. L.; FREIRE, V. A. **Análise de acidez e índice de peróxido do óleo de soja utilizado em frituras**. Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino de Ciências. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conapesc/trabalhos/TRABALHO_EV058_MD4_SA86_ID484_12042016200928.pdf>. Acesso em Julho de 2018

CAMILO VMA, ALMEIDA DT, ARAÚJO MPN, CARDOSO LA, ANDRADE JC, BONELLI M. Avaliação da qualidade de óleos e gorduras de fritura em bares, restaurantes e lanchonetes. **Rev Inst Adolfo Lutz**. São Paulo, 2010; 69(1):91-98.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DA SEDIMENTAÇÃO DESCONTÍNUA DE CaCO_3 E Ca(OH)_2 EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES VISANDO À SEPARAÇÃO DE PARTICULADO

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 06/11/2020

Paula Gabriela Dalla Porta

Universidade Federal de Santa Maria

Engenharia Química

Santa Maria, RS

<http://lattes.cnpq.br/9414624921819309>

Suely Ribeiro Hollas

Universidade Regional Integrada do Alto

Uruguai e das Missões, Engenharia Química

Santo Ângelo, RS

<http://lattes.cnpq.br/5546355005670058>

Dinalva Schein

Universidade Federal de Santa Maria

Engenharia Química

Santa Maria, RS

<http://lattes.cnpq.br/8537370885641182>

Carolina Smaniotto Fronza

Universidade Federal de Santa Maria

Engenharia Química

Santa Maria, RS

<http://lattes.cnpq.br/9662495827820486>

Gabriela Aline Kroetz Bremm

Universidade Regional Integrada do Alto

Uruguai e das Missões, Engenharia Química

Santo Ângelo, RS

<http://lattes.cnpq.br/4548141143478226>

Isaac dos Santos Nunes

Universidade Regional Integrada do Alto

Uruguai e das Missões, Engenharia Química

Santo Ângelo, RS

<http://lattes.cnpq.br/6592130971504394>

Andréia Monique Lermen

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Microbiologia Agrícola e do Ambiente

Cerro Largo, RS

<http://lattes.cnpq.br/7252021598762941>

Naiara Jacinta Clerici

Universidade Federal da Fronteira Sul

Engenharia Ambiental e Sanitária

Cerro Largo, RS

<http://lattes.cnpq.br/3630704975736129>

RESUMO: A separação de particulados é essencial, pois, além da obtenção do produto desejado, evita-se o desperdício de materiais de alto valor agregado e controla a poluição nos mais diversos ambientes. Existem vários processos que permitem a separação de partículas, e um exemplo é a sedimentação, que é uma operação de separação sólido-líquido baseada na diferença entre as concentrações das fases presentes na suspensão, as quais estão sujeitas à ação do campo gravitacional. Inicialmente, a suspensão se apresenta homogênea, porém, durante o processo, as partículas mais densas se depositam no fundo do sedimentador formando a região do espessado, e acima dele a do líquido clarificado. A operação pode ser melhor entendida com o emprego do teste de proveta, o qual se baseia no monitoramento do deslocamento axial da interface superior da suspensão com o tempo. Dessa forma, realizou-se o estudo da sedimentação das suspensões de Carbonato de Cálcio (CaCO_3) e Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2), nas concentrações de 3, 5 e 7% (30, 50 e 70 g L^{-1}), a fim de quantificar as variáveis de altura da

suspensão e o tempo do processo, para então se determinar a variação da concentração da suspensão e a velocidade de sedimentação. Após o ensaio, observou-se que as soluções com concentrações mais baixas levaram menos tempo para sedimentar, em comparação com as mais concentradas. Quanto à velocidade, verificou-se que as mesmas dependiam somente da concentração das partículas em suspensão, esta que aumentou gradativamente com a diminuição da altura da interface, devido ao acúmulo de partículas sólidas na base da coluna.

PALAVRAS CHAVE: Operação unitária; sedimentação; separação de partículas; suspensão; teste de proveta.

STUDY OF DISCONTINUOUS SEDIMENTATION OF CaCO_3 AND Ca(OH)_2 IN DIFFERENT CONCENTRATIONS AIMING AT THE SEPARATION OF PARTICULATE

ABSTRACT: Particles separation is essential, because, in addition to obtaining a desired product, it also avoids the waste of materials with high added value and controls pollution in several environments. There are many processes that allow particles separation, and an example is sedimentation, which is a solid-liquid separation operation based on the difference of concentrations of the phases in the suspension, which are subject to the gravitational field action. Initially, the suspension shows homogeneous, however, during the process, the denser particles are deposited on the bottom of the sedimenter forming the thickened region, and above that, the clarified liquid. The operation can be better understood using the tube's test, based on monitoring the axial displacement of the upper suspension interface over time. Thus, the sedimentation study of the suspensions of Calcium Carbonate (CaCO_3) and Calcium Hydroxide (Ca(OH)_2) was carried out, in concentrations of 3, 5 and 7% (30, 50 and 70 g L⁻¹), to quantify the suspension height variables and the process time, to then determine the suspension concentration variation and the sedimentation speed. After the test, it was observed that solutions with lower concentrations took less time to settle, compared to the more concentrated ones. As for speed, it was found that they depended only on the particles concentration in suspension, which gradually increased with the decrease in the height of the interface, due to the accumulation of solid particles at the column base.

KEYWORDS: Unit operation, sedimentation, particle separation, suspension, tube's test.

1 | INTRODUÇÃO

Operações unitárias, apontadas como um dos pilares nas indústrias químicas, são seqüências de um processo industrial e que possuem ampla aplicação. Estas operações são baseadas em princípios teóricos e empíricos, divididas em cinco classes, sendo essas a transferência de calor, transferência de massa, processos de escoamento de fluidos, termodinâmicos e também mecânicos (ISENMANN, 2018).

De acordo com Cremasco (2014), a sedimentação é considerada um processo mecânico, sendo, atualmente, uma das etapas de separação de partículas mais importantes, dentre as operações unitárias disponíveis para esta aplicação. Sua utilização é notificada

em indústrias químicas, têxteis, farmacêuticas, no beneficiamento de minério, bem como no processamento de alimentos, tratamento de água e de resíduos, pois, além da obtenção do produto desejado, evita o desperdício de materiais de alto valor agregado e o controle da poluição nos mais diversos ambientes.

A sedimentação é uma operação que ocorre sujeita à ação do campo gravitacional, normalmente em tanques cilíndricos, conhecidos como sedimentadores. Estes equipamentos podem ser classificados em dois tipos: os espessadores, que têm como produto de interesse a fase particulada e são caracterizados pela produção de espessados com alta concentração de partículas; e os clarificadores, que produzem o clarificado com baixa concentração de partículas, apresentando a parte sobrenadante como produto de interesse (AROUCA, 2007).

Conforme estudos de França e Massarani (2002), algumas aplicações tecnológicas da sedimentação se dão na indústria da mineração, nas quais são largamente utilizados para obtenção de polpas com concentrações adequadas, espessamento de rejeitos com concentração elevada de partículas, recuperação de água para reciclo industrial e recuperação de partículas ou solução de operações de lixiviação, utilizados em processos metalúrgicos.

A operação de sedimentação pode ser facilmente entendida por meio do teste de proveta, o qual se baseia no acompanhamento do deslocamento axial da interface superior da suspensão ao longo do tempo. No início do ensaio, as partículas apresentam-se homogêneas e a concentração da fase particulada é constante em todos os pontos ao longo da altura da proveta. Quando começam a sedimentar, inicia-se a formação de uma região de líquido clarificado, que é praticamente isenta de sólidos. Logo após, é originada a região intermediária, ou região de sedimentação livre, que contém aglomerados mais finos (menos concentrados) e no final da proveta estão as partículas maiores e mais densas, formando a região de compactação (CREMASCO, 2014).

Com o decorrer do teste são observadas variações na altura destas regiões. As regiões de líquido clarificado e de compactação tornam-se maiores em virtude do desaparecimento da região de sedimentação livre. Após um tempo, atinge-se uma situação na qual existe apenas a região de compactação e a de líquido clarificado. A partir de então, a sedimentação consiste em uma compressão lenta da fase particulada, que expulsa o líquido existente entre as partículas para a região de líquido clarificado. A expulsão do líquido promove a acomodação da fase particulada, que pode ser observada por meio de uma pequena variação na altura da região de compactação (FRANÇA e MASSARANI, 2002).

A operação de espessamento (ou sedimentação) de suspensões leva à formação de tortas (lama, lodo, espessado), resultando na variação da concentração da fase particulada (partículas ou aglomerados) no volume do tanque de sedimentação. E se tratando de operações em batelada (quando uma dada quantidade de material é processada por meio

de passos unitários), resulta também na variação do tempo de operação (CREMASCO, 2014).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo obter as curvas de sedimentação das suspensões de carbonato de cálcio (CaCO_3) e hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) nas concentrações de 3, 5 e 7% (30, 50 e 70 g L⁻¹).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Com o auxílio de provetas, inseriu-se em cada um dos frascos de sedimentação diferentes concentrações de CaCO_3 e Ca(OH)_2 . Na sequência, homogeneizaram-se as suspensões e anotaram-se os dados de tempo e altura da interface, conforme ocorria a sedimentação das partículas. Com os dados obtidos, partiu-se para os cálculos e plotagem do processo de sedimentação do CaCO_3 e Ca(OH)_2 .

Por meio da Equação 1, calculou-se a concentração das suspensões para as diferentes alturas de interface, sendo que C é a concentração, C_i é a concentração inicial, Z_i é a altura da região de compactação inicial e Z é a altura da região de compactação.

$$C = (C_i Z_i) / Z \quad (1)$$

Para a análise da velocidade de sedimentação conforme a altura da região de compactação, empregou-se a Equação 2, na qual v é a velocidade de sedimentação, Z_i é a altura da região de compactação inicial, Z é a altura da região de compactação e θ é o tempo de sedimentação.

$$v = (Z_i - Z) / \theta \quad (2)$$

A partir dos dados obtidos pelas Equações 1 e 2, construiu-se as seguintes curvas de sedimentação para as diferentes concentrações iniciais (3, 5 e 7%) das suspensões de CaCO_3 e Ca(OH)_2 : altura de suspensão *versus* tempo de sedimentação, velocidade de sedimentação *versus* altura da suspensão e concentração da suspensão *versus* altura da suspensão. Por fim, compararam-se os gráficos experimentais com os gráficos teóricos apresentados na literatura.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A suspensão apresentou-se homogênea e a concentração da fase particulada ao longo da proveta foi constante no início da análise. Com o decorrer do experimento, as partículas maiores e mais densas tenderam a começar a sedimentar, formando uma camada mais espessa no fundo da proveta, denominada região de compactação ou região de concentração da suspensão. Assim, conforme esperado, tem-se a formação de aglomerados mais concentrados e com maior velocidade de sedimentação. Os

aglomerados finos ou menos concentrados, sedimentaram mais lentamente, formando a região intermediária.

Para ser possível a plotagem do gráfico, aferiu-se o cronômetro de tempo para cada 3 centímetros (cm) de movimentação da zona de concentração das partículas, gerando assim, valores da altura da interface e tempo. Relacionando esses dados, construíram-se as curvas de sedimentação apresentadas na Figura 1, a qual demonstra o movimento das interfaces para o CaCO_3 nas concentrações de 3, 5 e 7%.

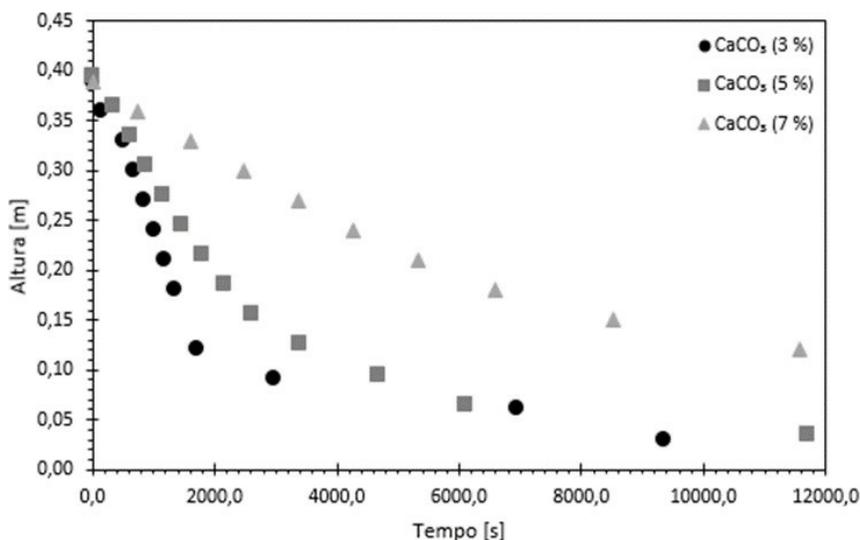


Figura 1. Altura versus tempo de sedimentação de CaCO_3 (3, 5 e 7%).

A diferença da variação de altura com o passar do tempo foi percebida analisando-se as curvas de sedimentação de CaCO_3 para as três concentrações. Conforme a Figura 1, percebe-se que a solução com menor concentração obteve a curva menos linear. Isto porque o tempo para sedimentar foi menor que o das soluções mais concentradas, ou seja, quanto maior a concentração da solução, maior o tempo de sedimentação.

Além disso, a diferença entre a altura inicial e a altura final de sedimentação foi menor para o CaCO_3 mais concentrado (7%), ou seja, a altura de compactação foi maior para as soluções que apresentam maior quantidade de particulados, uma vez que as alturas mínimas das suspensões de CaCO_3 aumentaram significativamente, conforme apresentado na Tabela 1. Esse resultado é semelhante ao de Pirola *et al.* (2017), que analisaram as suspensões de CaCO_3 com as mesmas concentrações utilizadas neste ensaio, apresentando em seus resultados poucas discordâncias entre as curvas.

Concentração (%)	Altura Inicial (m)	Altura Mínima (m)
3	0,390	0,023
5	0,395	0,043
7	0,390	0,052

Tabela 1. Altura Inicial e mínima de suspensão de CaCO_3 .

A curva de sedimentação do Ca(OH)_2 (3%) apresentou uma queda significativa com o tempo, como pode ser observado na Figura 2, indicando que o Ca(OH)_2 (3%) teve um tempo de sedimentação bastante curto quando comparado às demais concentrações, com uma menor variação da sua altura nos últimos pontos da curva, pois as partículas já haviam sedimentado e o espessado já estava bastante compactado.

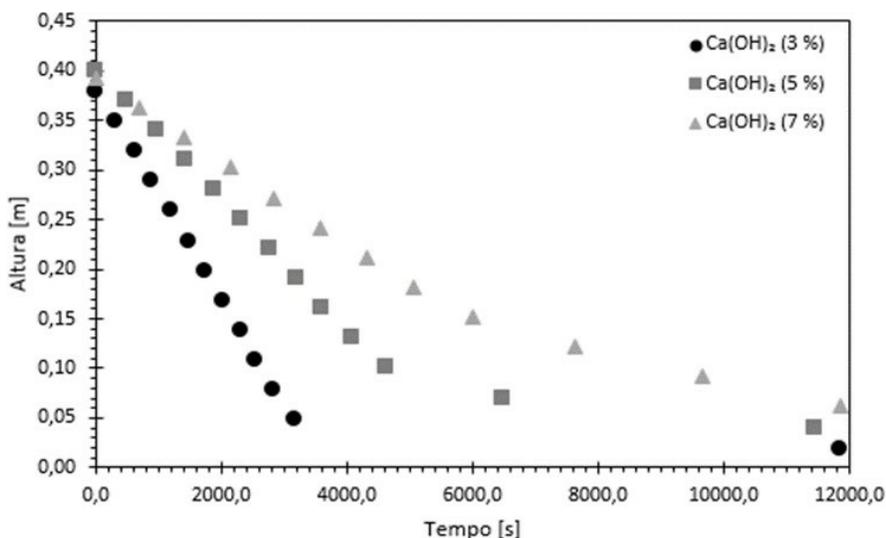


Figura 2. Altura versus tempo de sedimentação de Ca(OH)_2 (3, 5 e 7%).

De acordo com a Figura 2, para as concentrações de 5 e 7%, as curvas apresentaram-se mais lineares, uma vez que a sedimentação não ocorreu de forma tão rápida quanto a de 3%. Também se percebeu que a altura de sedimentado sofre menor variação quanto menor for a concentração das partículas, como visualizado na Tabela 2. Spirandeli *et al.* (2015), realizaram o mesmo ensaio para a solução de Ca(OH)_2 , com as mesmas concentrações, sendo que as curvas obtidas foram semelhantes, diferindo apenas no tempo de sedimentação, que foi menor.

Concentração (%)	Altura Inicial (m)	Altura Mínima (m)
3	0,378	0,02
5	0,4	0,026
7	0,392	0,048

Tabela 2. Altura Inicial e mínima de suspensão de Ca(OH)_2 .

Um aspecto importante a ser levado em consideração é referente a região intermediária da sedimentação. Nessa região, houve dificuldades na visualização da separação da zona de líquido límpido e na zona de concentração da suspensão, principalmente para as soluções menos concentradas, e, mais ainda, para o Ca(OH)_2 . Isso decorre do fato de ser uma solução de baixa solubilidade, fazendo com que o clarificado apresentasse uma coloração aparente, dificultando assim, uma leitura nítida das alturas, e possivelmente ocasionando algumas divergências nos resultados.

Foram realizados também cálculos da variação de concentração conforme a altura. A concentração na região de compactação foi maior quando comparada à solução homogênea inicial, como pode ser analisado na Figura 3, que demonstra as curvas de altura da interface *versus* concentração de CaCO_3 .

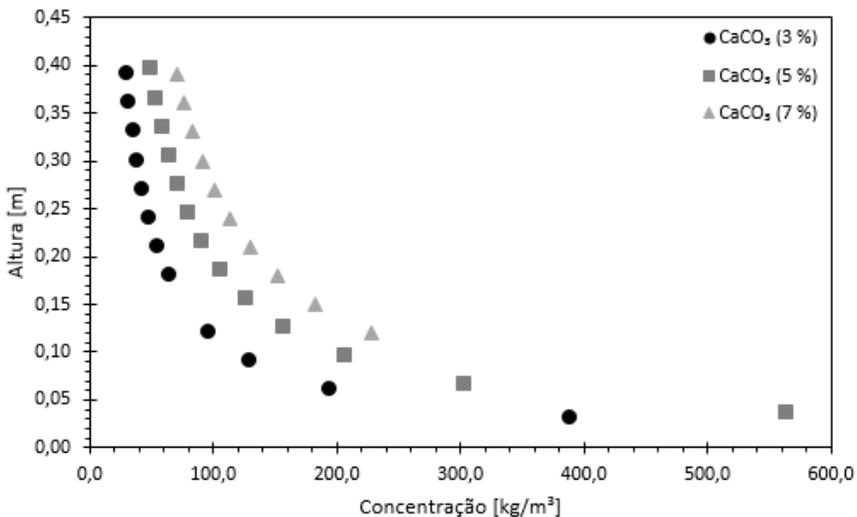


Figura 3. Altura *versus* concentração de CaCO_3 (3, 5 e 7%).

Segundo a Figura 3, observa-se que em ambas as curvas a concentração aumentou conforme se diminuía a altura, ou seja, houve a formação da região de compactação com concentração maior do que a inicial, como previsto por outros estudos abordados pela

literatura. Esse aumento na concentração foi convergente para as três concentrações.

Para o Ca(OH)_2 também se obteve o aumento da concentração do espessado com a variação da altura, como pode ser visto na Figura 4. As curvas são semelhantes às obtidas por Pirola *et al.* (2017), os quais constataram uma maior concentração na região de compactação do espessado, pois esta é uma região onde todos os sólidos sedimentados estão presentes, além de ter um predomínio de partículas mais pesadas e com sedimentações rápidas, ou seja, onde as concentrações são maiores.

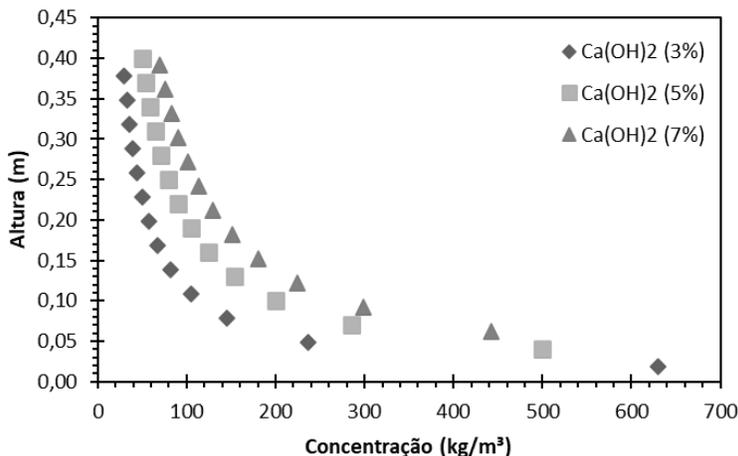


Figura 4. Altura *versus* concentração Ca(OH)_2 (3, 5 e 7%).

Relacionando as alturas da interface com a altura inicial e o tempo do processo, realizou-se o cálculo da velocidade de sedimentação para as três concentrações de CaCO_3 , demonstrado na Figura 5.

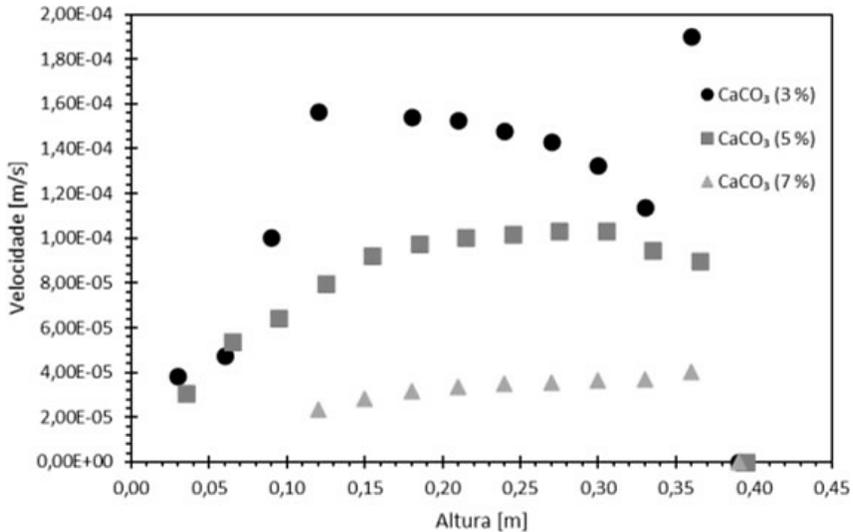


Figura 5. Velocidade *versus* Altura CaCO_3 (3, 5 e ,7%).

Em conformidade com a Figura 5, a velocidade foi maior para a concentração de 3% de CaCO_3 , pois o tempo que essa suspensão levou para sedimentar foi menor quando comparado com as demais concentrações, visto que a velocidade diminui gradativamente com as soluções mais concentradas. Isso se explica pelo fato de que a velocidade de sedimentação sempre tende a zero quando a concentração tende a aumentar. A velocidade de sedimentação depende somente da concentração local de partículas.

Pirola *et al.* (2017), encontraram resultados parecidos para a velocidade, apresentando divergências mais significativas apenas na curva do CaCO_3 (3%), a qual obteve grandes variações em vários pontos, apresentando, assim, menor linearidade quando comparada às outras concentrações.

As curvas para o Ca(OH)_2 apresentaram maior linearidade, conforme a Figura 6, tendo uma diminuição da velocidade conforme a variação da altura. Pode-se observar que a concentração de 3% sedimentou com maior velocidade, enquanto que a concentração de 7% obteve os menores valores, apresentando um resultado constante para a velocidade da metade da altura do espessado até um ponto antes da última altura medida, pois a maioria das partículas já estava na região de compactação.

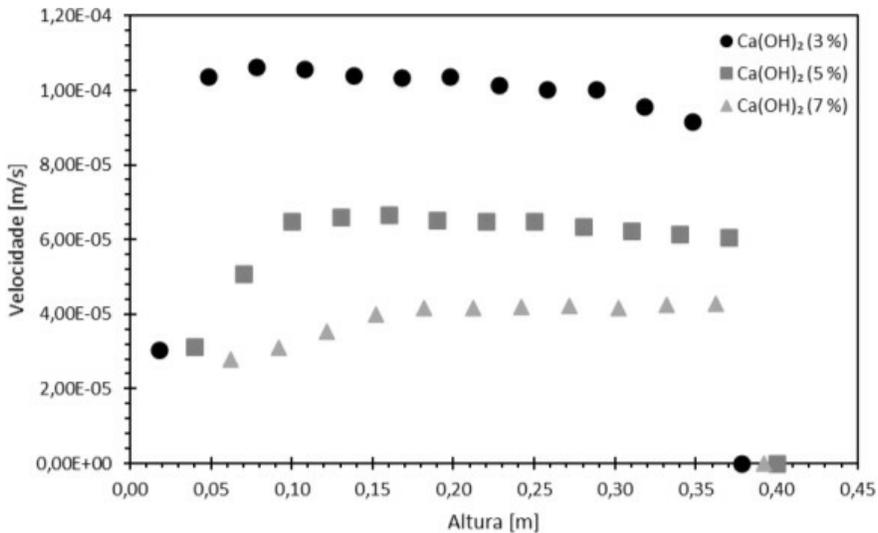


Figura 6. Velocidade versus Altura Ca(OH)₂ (3, 5 e 7%).

Outro aspecto a ser observado em relação à Figura 6 são os pontos de maior velocidade, que estão na região média de cada curva, correspondente à região de sedimentação livre, na qual as partículas sedimentam livremente, diminuindo a velocidade somente quando se aproximam da região de compactação, onde não há mais espaço livre para sedimentar e as partículas apenas se acomodam.

4 | CONCLUSÃO

Diante disso, pode-se observar que em soluções com menores concentrações, os particulados levaram um tempo menor para sedimentar, quando comparadas às com maiores concentrações, pois há menor quantidade de sólidos particulados.

Em relação às concentrações, as mesmas aumentaram gradativamente à medida que a altura da interface diminuía, pois a região de espessado que se forma com o tempo de sedimentação é rica em sólidos. Quanto à velocidade, constatou-se que esta depende somente da concentração local de partículas, variando conforme a concentração. Quanto maior a concentração de sólidos numa região, menor é a velocidade de sedimentação, por isso, na região de compactação a velocidade tende a zero. Quanto maior o tamanho da partícula na região de sedimentação livre, maior é a sua velocidade, e as partículas menores sedimentam mais lentamente.

Os resultados puderam ser comparados com outros experimentos disponíveis na literatura, demonstrando curvas bastante semelhantes, apresentando poucas divergências entre as mesmas. Essas divergências podem estar associadas aos pré-tratamentos das soluções de CaCO₃ e Ca(OH)₂ e das áreas dos sedimentadores. Outra possível fonte

de discrepância pode estar relacionada à precisão do método, devido à dificuldade na visualização da região de transição do líquido clarificado para a região mais concentrada, conduzindo a possíveis erros na aferição da variação da altura do espessado.

REFERÊNCIAS

Arouca, F. O. **Uma contribuição ao estudo da sedimentação gravitacional em batelada**. Tese de doutorado. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2007.

CreMASCO, M. A. **Operações Unitárias em Sistemas Particulados e Fluidomecânicos** - 2ª ed- São Paulo: Blucher, 2014.

França, S. C. Massarani, G. **Separação sólido-líquido**. In: Freire, J. J.; Silveira, A. N. (Eds.) Tratamento de Minérios. Comunicação técnica - CETEM, Rio de Janeiro, 2002.

Isenmann, A. F. **Operações Unitárias na Indústria Química**. Centro Federal de Educação Tecnológicas de Minas Gerais, 3 ed., 2018.

Pirola, A.; Weschenfelder, B. L.; Costa, C.; Krüger, J. A.; Lodi, R.; Nunes, I. S. **Análise de sedimentação descontínua em suspensão de CaCO_3 e Ca(OH)_2** . In: I Mostra de Trabalhos de Engenharia Química da URI, p. 17. Anais eletrônicos. Santo Ângelo: URI, 2017.

Spirandeli, A. B. L.; Souza, A. S.; Pinto, C. F.; Martinelli, L...; Speretta, M. E.; Santos, K. G. **Projeto e construção de um sedimentador em escala de laboratório**. In: XXXVII ENEMPI, p.1267-1275. Anais eletrônicos. São Carlos: UFSCAR, 2015.

CAPÍTULO 4

FUNCIONALIZAÇÃO DO TERPOLÍMERO ACRILONITRILA-BUTADIENO-ESTIRENO COM ANIDRIDO MALEICO – UMA REVISÃO DA LITERATURA

Data de aceite: 01/02/2021

Carlos Bruno Barreto Luna

Universidade Federal de Campina Grande
Departamento de Engenharia de Materiais
<http://lattes.cnpq.br/3715843582747323>

Danilo Diniz Siqueira

Universidade Federal de Campina Grande
Departamento de Engenharia de Materiais
<http://lattes.cnpq.br/2749678246476666>

Eduardo da Silva Barbosa Ferreira

Universidade Federal de Campina Grande
Departamento de Engenharia de Materiais
<http://lattes.cnpq.br/6980905769610776>

Edson Antonio dos Santos Filho

Universidade Federal de Campina Grande
Departamento de Engenharia de Materiais
<http://lattes.cnpq.br/7739936167795845>

Edcleide Maria Araújo

Universidade Federal de Campina Grande
Departamento de Engenharia de Materiais
<http://lattes.cnpq.br/1097999681102529>

RESUMO: O terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) é um termoplástico de engenharia amplamente utilizado, devido à alta resistência ao impacto e à boa rigidez. Uma maneira de ampliar a faixa de aplicação do ABS é por meio da modificação química, tendo em vista o enxerto de grupos funcionais na cadeia. Atualmente, há trabalhos experimentais sobre o processo de funcionalização do ABS. Porém, os estudos são conduzidos de forma aleatória, ou seja,

com diferentes condições de processamento e parâmetros operacionais. Portanto, este trabalho corresponde a uma revisão da literatura, centrada especificamente na funcionalização do ABS com o anidrido maleico (MA). O tipo de processamento, o iniciador de polimerização, o mecanismo de reação e os principais resultados são apresentados. A modificação química do ABS é mais viável do ponto de vista industrial por meio do estado fundido, utilizando o peróxido de dicumila (DCP) como iniciador. O mecanismo de reação de enxertia do ABS é mais propenso na região do butadieno. Em geral, a modificação estrutural indica o aparecimento de uma nova banda em 1780 cm^{-1} , atribuída à carbonila do MA, conforme a análise de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). O grau de enxertia de MA na cadeia do ABS é dependente das condições de processamento e do teor do grupo funcional utilizado.

PALAVRAS-CHAVE: ABS, Modificação química, Anidrido maleico, Mecanismo de reação.

ACRYLONITRILLA-BUTADIENE-STYRENE TERPOLYMER FUNCTIONALIZATION WITH MALEIC ANHYDRIDE - A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) terpolymer is a widely used engineering thermoplastic due to its high impact resistance and good rigidity. One way to expand the application range of ABS is through chemical modification, with a view to grafting functional groups into the chain. Currently, there are experimental works on the ABS functionalization process. However, the

studies are conducted at random, i.e. with different processing conditions and operational parameters. Therefore, this work corresponds to a literature review, focusing specifically on the functionalization of ABS with maleic anhydride (MA). The type of processing, the polymerization initiator, the reaction mechanism and the main results are presented. The chemical modification of ABS is more viable from an industrial point of view through the molten state, using dicumyl peroxide (DCP) as an initiator. The ABS graft reaction mechanism is more prone in the butadiene region. In general, the structural modification indicates the appearance of a new band in 1780 cm^{-1} , attributed to the carbonyl of the MA, according to the analysis of spectroscopy in the infrared with Fourier transform (FTIR). The MA grafting degree in the ABS chain is dependent on the processing conditions and the content of the functional group used.

KEYWORDS: ABS, Chemical modification, Maleic anhydride, Reaction mechanism.

1 | INTRODUÇÃO

O terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) apresenta uma estrutura complexa com três monômeros distintos (Braga et al., 2019). O ABS apresenta uma fácil capacidade de processamento, alta resistência ao impacto e boa rigidez, sendo considerado um polímero de engenharia (Oliveira et al., 2016; Debbah et al., 2018). Além disso, o ABS demonstra uma combinação favorável de propriedades térmicas e mecânicas (Rutkowski e Levin, 1986). As diferentes propriedades podem ser seletivamente aprimoradas para aplicações específicas pela modificação das proporções relativas dos componentes (Simielli e Santos, 2010). Porém, no caso para aplicação como modificador de impacto de outros polímeros de engenharia com grupos funcionais na estrutura molecular, torna-se necessário realizar a funcionalização (Gezaz e Khoshhal, 2017).

A funcionalização do ABS por meio do enxerto de anidrido maleico (MA) na presença de peróxido como iniciador tem recebido muita atenção nas últimas décadas (Elmaghor et al., 2004; Manaf et al., 2017). O ABS funcionalizado foi preparado com sucesso por solução e fusão. Por isso, o ABS-g-MA modificado quimicamente tem sido amplamente utilizado para compatibilização de misturas de poliamida 6/ABS e, ao mesmo tempo, na tenacificação da poliamida 6, com o desenvolvimento de misturas de PA6/ABS-g-MA (Xu et al., 2008). O sucesso comercial dessas misturas pode ser atribuído aos altos níveis de propriedades mecânicas, quando se adiciona a quantidade ideal do ABS-g-MA, com um grau de enxertia suficiente de anidrido maleico para reagir na mistura (Tomic e Marinkovic, 2020). Devido à importância comercial da funcionalização do ABS, a comunidade acadêmica investigou diferentes teores de monômero funcional e do iniciador de polimerização, assim como diferentes parâmetros de processamento: perfil de temperatura, velocidade de rotação e tipo de equipamento (Qi et al., 2003). Porém, na literatura, o estudo da funcionalização do ABS com anidrido maleico não segue um padrão, ou seja, não há uma metodologia definida para os parâmetros operacionais. Em visto disso, torna-se importante realizar uma compilação desses dados sobre a funcionalização do ABS.

No que se refere à temática abordada nesta revisão da literatura, especificamente

a funcionalização do ABS com anidrido maleico, não se localizou menção na literatura especializada tratando do agrupamento dos principais trabalhos desenvolvidos, de forma que o presente estudo pode contribuir para a literatura científica. Nesse caso, em decorrência da importância e relevância da temática abordada, justifica-se a publicação do presente trabalho. Portanto, o presente trabalho aborda uma revisão da literatura sobre a funcionalização do ABS com o anidrido maleico (MA). Será apresentada uma síntese dos principais trabalhos da literatura, o mecanismo de reação de enxertia e a utilização como modificador de impacto da poliamida 6.

2 | METODOLOGIA

A revisão de literatura pode ser classificada conforme seu propósito, abrangência, função e tipo de análise desenvolvida (Motta et al., 2016). No que tange ao propósito, a presente revisão aborda um tema específico, reunindo os vários trabalhos desenvolvidos sobre a funcionalização do terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), bem como sua aplicação como modificador de impacto. Referente à abrangência, este estudo se trata de uma revisão temática, centrada especificamente na funcionalização do ABS com o grupo funcional anidrido maleico (MA). Em termos da função, este trabalho é de caráter técnico, por reunir a literatura referente a um tema industrial, possibilitando avaliar os diversos parâmetros utilizados, como teor de anidrido maleico, teor de peróxido, tipo de processamento, velocidade dos rotores e a temperatura utilizada. Quanto ao tipo de análise empregada, o trabalho é informativo, na medida em que exibe diversos parâmetros de processamento e o grau de enxertia de anidrido maleico obtido. Em geral, a revisão apresentada é uma síntese da funcionalização do ABS com anidrido maleico (MA) e serve como um guia de consulta dos artigos completos.

Para a revisão bibliográfica realizou-se buscas no banco de dados Web of Science e Google Acadêmico, utilizando-se os seguintes termos de pesquisa: Funcionalização/Functionalization, Anidrido Maleico/Maleic Anhydride, Enxertia do ABS/ABS grafting, Funcionalização do ABS/ABS functionalization e Funcionalização de Polímeros/Polymers functionalization. Sendo válidos os resultados que apresentassem os termos descritos nos campos de pesquisa título, resumo e palavras-chave, sem exclusão de trabalhos por ano de publicação até a data da pesquisa.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS)

A partir de 1948, quando foi introduzido no mercado norte-americano pela U.S. Rubber Company, o terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) tem se expandido continuamente em aplicações práticas (Simielli e Santos, 2010). O ABS apresenta uma estrutura molecular complexa, uma vez que é formado a partir de três monômeros:

acrilonitrila, butadieno e o estireno (Kamelian et al., 2018). A Figura 1 ilustra a representação da estrutura molecular do terpolímero ABS.

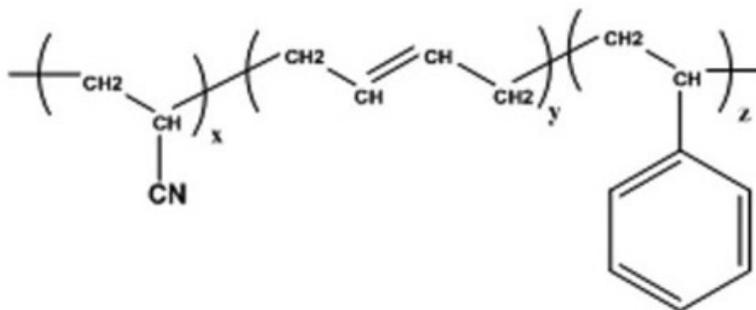


Figura 1 - Estrutura molecular do terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS).

Fonte: Kuram, Ozcelik, & Yilmaz (2016).

O ABS apresenta uma matriz termoplástica formada por acrilonitrila e estireno (SAN), de T_g relativamente alta (110-120°C), e uma fase borrachosa de polibutadieno (PB) dispersa nesta matriz vítrea, com T_g em aproximadamente -70°C e, ao mesmo tempo, uma terceira fase constituída de partículas de polibutadieno grafitizadas na matriz de SAN (Ferreira et al., 1997; Araújo, 2001; Hirayama e Saron, 2018). O ABS, por apresentar três meros diferentes na cadeia principal, tende a ter dificuldade de empacotamento e, portanto, é amorfo (Júnior, 2002). A proporção de cada um desses monômeros é responsável pelas características gerais do ABS, implicando em uma versatilidade considerável na adaptação das propriedades, visando atender aos requisitos específicos de um produto (Kulich et al., 2003; Adam et al., 2017).

A acrilonitrila por apresentar elevada energia de coesão e parâmetro de solubilidade na magnitude de 28,7 (MJ/m³)^{1/2} conferem maior resistência térmica e química ao ABS, porém em detrimento da processabilidade (Simielli e Santos, 2010). Para contornar esse problema, o estireno é utilizado para fornecer rigidez e melhorar a processabilidade (Arostegui et al., 2006). O butadieno que, por ser uma borracha, exerce uma grande influência na resistência ao impacto e na tenacidade do ABS (Zhang et al., 2007). As indústrias sintetizam o ABS com proporções variadas, geralmente nas faixas de 15 a 35% para acrilonitrila, 40 a 60% para estireno e 5 a 30% para borracha de butadieno (Jin et al., 2010). Portanto, as propriedades do ABS podem ser ajustadas para as mais variadas aplicações de alto desempenho da engenharia, por meio de uma tecnologia de processamento viável e de produção em grande escala.

Simielli e Santos (2010) indicam que os dois processos mais importantes para a produção do ABS são o químico (copolimerização por enxertia) e o processo mecânico.

No processo por copolimerização por enxertia, a acrilonitrila e o estireno são misturados com o látex de polibutadieno a aproximadamente 50°C, para que ocorra a absorção dos monômeros. Um iniciador solúvel em água é adicionado ao sistema para polimerizar o estireno e a acrilonitrila. O material resultante desta operação é uma mistura de polibutadieno, polibutadieno com enxerto de estireno e acrilonitrila, bem como o copolímero de acrilonitrila-estireno. Por outro lado, o processo mecânico consiste na mistura por fusão dos componentes em um misturador interno, tipo banbury ou em uma extrusora dupla-rosca.

O ABS é considerado um termoplástico de engenharia que apresenta uma vasta escala de propriedades úteis, como alta resistência ao impacto, boa rigidez, resistência química, baixa densidade, estabilidade dimensional, alto brilho, estabilidade termomecânica e facilidade de processamento (Oliveira, 2009; Smith e Hashemi, 2012; Alghadi et al., 2020). Por isso, o ABS ganhou destaque em produtos na indústria automotiva, em equipamentos elétricos, computadores, aparelhos de telefone, etc (Ulker et al., 2018). Além disso, o ABS é o polímero mais empregado na fabricação de peças cromadas com função decorativa, principalmente devido à sua composição e estrutura química (Kurek et al., 2015). Na Tabela 1 são apresentadas as propriedades mecânicas e termomecânicas dos principais tipos comerciais do ABS de alto impacto. É crucial observar que as propriedades do ABS estão dentro de uma faixa, devido à possibilidade de alterações nas proporções dos três monômeros, conforme mencionado anteriormente.

Propriedades (23°C)	Faixa de valores
Resistência ao Impacto	380 – 450 J/m
Resistência à Flexão	52 – 71 MPa
Módulo de Flexão	1,5 – 2,3 GPa
Módulo sob Tração	1,5 -2,3 GPa
Resistência à Tração	40 – 45 MPa
Dureza Rockwell	88 – 112 R
Temperatura de Deflexão Térmica (1,82 MPa)	73 – 78°C
Temperatura de Amolecimento Vicat	90 – 105°C
Densidade	1,02 – 1,04 g/cm ³

Tabela 1. Faixa de propriedades mecânicas e termomecânicas do ABS de alto impacto comercial.

Fonte: Fink (2010) e Simielli e Santos (2010).

A boa processabilidade do ABS com características reológicas de um termoplástico permite sua moldagem e processamento, em uma variedade de métodos, como:

compressão, injeção, extrusão, calandragem e sopro (Fink, 2010). A alta resistência ao impacto, à boa resistência termomecânica e a processabilidade do ABS, sugerem a sua incorporação como modificador de impacto da poliamida 6 (PA6), visando o desenvolvimento de blendas poliméricas (Carrot et al., 1991; Castro et al., 2016). Todavia, há necessidades da funcionalização do ABS para reagir com os grupos funcionais da PA6, gerando, com isso, materiais de alto desempenho (Araújo et al., 2003a; Araújo et al., 2003b; Fu et al., 2013).

3.2 Funcionalização de Polímeros

Atualmente, um interesse considerável está sendo focado em polímeros sintéticos contendo grupos funcionais reativos (Haik et al., 2019; Morais et al., 2019; Riechert et al., 2019). A funcionalização de polímeros consiste na modificação química, visando adicionar na estrutura novos grupos químicos reativos (Baptista e Canevarolo, 2019; Siqueira et al., 2018). Geralmente, um polímero contendo grupos químicos reativos é preparado para que atue como uma substância reativa, ou seja, promova interações ou reações químicas, com outro polímero que contenha grupos funcionais (Agrawal et al., 2008; Luna et al., 2019b). O processo de modificação química ou enxertia dos polímeros é amplamente realizado com o anidrido maleico, o ácido acrílico e o ácido metacrílico (Rzayev, 2011). Todavia, o anidrido maleico (MA) é o monômero mais utilizado na funcionalização de polímeros (Diop e Torkelson, 2013; López et al., 2018; Montanheiro et al., 2016).

O anidrido maleico (MA) foi produzido comercialmente pela primeira vez no início da década de 1930 (Felthouse et al., 2001). O MA é um sólido branco, com um forte odor ácido, higroscópico e que apresenta uma estrutura cristalina em forma de agulhas ortorrômbicas (Cordella, 2000). Inicialmente, o MA era sintetizado pela desidratação do ácido maleico, porém o processo de obtenção foi modificado para oxidação catalítica, em fase vapor de hidrocarbonetos, assim como sua geração pode se dar em pequenas quantidades por meio do anidrido ftálico (Chitanu et al., 1997). As suas ligações conjugadas C=C e C=O podem participar de reações químicas juntas ou separadas (Mark et al., 1985). A estrutura do anidrido maleico está apresentada na Figura 2.

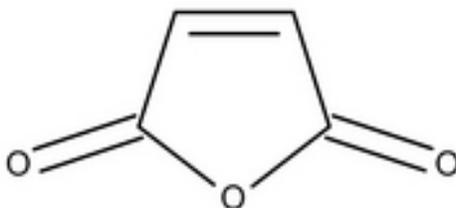


Figura 2 - Estrutura molecular do anidrido maleico (MA).

Fonte: Sigma-Aldrich Corporation (2020)

O anidrido maleico (MA) é altamente reativo com uma grande variedade de cadeias poliméricas. Quando o MA é enxertado em um polímero, pode aumentar a sua polaridade, o que leva a uma melhor interação com polímeros reativos (Siqueira et al., 2017; Zhao et al., 2018). A funcionalização de polímeros com anidrido maleico é amplamente utilizada para o desenvolvimento de compatibilizantes reativos, tendo como objetivo compatibilizar misturas de polímeros (Li e Lee, 1998; Agrawal et al., 2010). Além disso, os compatibilizantes reativos podem solucionar limitações de propriedades mecânicas de polímeros de engenharia individualmente, ou seja, por meio de uma mistura direta com um polímero de engenharia (Barra et al., 2003). Nesse caso, os grupos funcionais podem reagir quimicamente com a matriz polimérica, formando um copolímero in-situ na interface (Agrawal et al., 2009).

Existem vários trabalhos na literatura sobre a funcionalização dos polímeros commodities, indicando as condições ideais para obtenção de um bom grau de enxertia de grupo funcional (Shi et al., 2001; Zhang e Li, 2003; Sayed, 2008). Dentre os polímeros de engenharia, o ABS apresenta relevância, uma vez que é bastante utilizado como modificador de impacto da poliamida 6 (PA6) e, portanto, a funcionalização é requerida do ABS, visando um maior sinergismo de propriedades.

3.3 Funcionalização do ABS com Anidrido Maleico (MA)

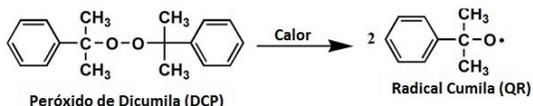
Devido à estrutura especial, o ABS é amplamente modificado com enxertos de anidrido maleico e, nesse caso, amplia suas aplicações (Cong et al., 2011; Zhenjia et al., 2012). A funcionalização do ABS é de grande interesse industrial, visto que pode ser utilizado para o processo de compatibilização reativa de misturas poliméricas (Peipeng et al., 2008; Shao et al., 2015). A eficácia da funcionalização do ABS vai depender das condições de processamento, assim como da concentração do grupo funcional e do iniciador de radicais livres (Zhijun et al., 2012).

O processo de funcionalização do ABS com anidrido maleico pode ser realizado em solução ou no estado fundido, utilizando-se extrusora ou misturador interno (Rabello, 2000). Contudo, uma modificação química do ABS é mais viável do ponto de vista industrial por meio do estado fundido, visto que é um processo rápido, contínuo e eficiente (Fink, 2010). A funcionalização do ABS com anidrido maleico consiste, de forma simplificada, na mistura do ABS no estado fundido com o monômero (MA) na presença de um iniciador de radicais livres, sob temperatura controlada (Biswal et al., 2013). A reação de enxertia inicia-se com a decomposição do iniciador, frequentemente um peróxido orgânico, que origina radicais livres, os quais irão abstrair átomos de hidrogênio da cadeia polimérica, gerando macroradicais, os quais poderão reagir com os monômeros dos grupos funcionais, dando origem ao polímero funcionalizado ou enxertado (Rzayev, 2011; Ma et al., 2014).

Na obtenção do terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno enxertado com anidrido maleico (ABS-MA), geralmente, o mecanismo de reação pode ocorrer com a adição do grupo funcional na região do butadieno (Rao et al., 1999). Porém, o ataque dos radicais

MA pode ocorrer no hidrogênio da posição alílica do butadieno ou no hidrogênio do carbono insaturado (Olongal et al., 2018). Além disso, como o butadieno na cadeia do ABS apresenta as ligações duplas, há possibilidade do fenômeno da reticulação (Liu et al., 2015). O mecanismo de enxertia de anidrido maleico no ABS está apresentado na Figura 3.

1ª Etapa - Geração do radical cumila



2ª Etapa - Enxertia do MA no ABS

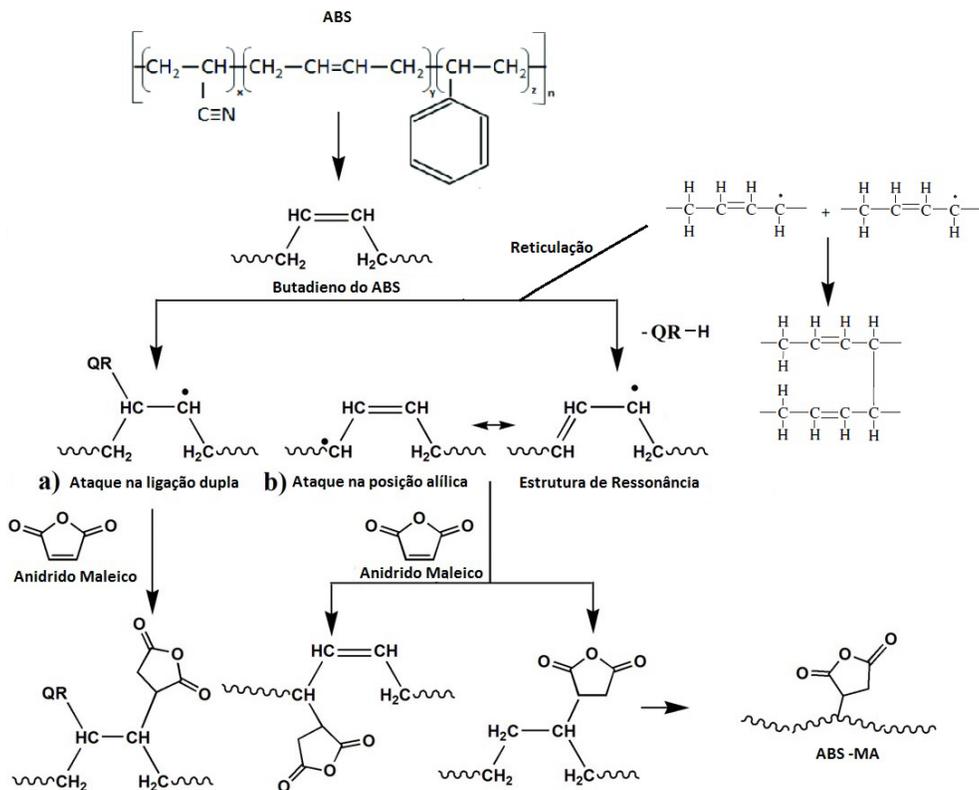


Figura 3 - Mecanismo de enxertia do anidrido maleico (MA) no ABS.

Fonte: Manaf et al. (2017). Reproduzido com autorização de Athiyanathil Sujith.

Existem investigações sobre a funcionalização do terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) com anidrido maleico, visando a avaliação da eficácia da enxertia do grupo reativo. Porém, na literatura, os estudos da modificação química do ABS são conduzidos

de forma aleatória, ou seja, não há critérios sobre as condições de processamento e as proporções dos reagentes utilizados na funcionalização. Portanto, o quadro abaixo mostra a síntese dos principais resultados reportados na literatura.

Autores	Processamento	Metodologia	Principais Resultados
Manaf <i>et al.</i> (2017)	Misturador interno sob temperatura de 150 °C e velocidade de rotação de 45 rpm.	<ul style="list-style-type: none"> • ABS seco em estufa a vácuo sob 80°C por 24 h; • Teor de ABS fixo em 20 g; • Teor de peróxido de dicumila (DCP) fixo de 0,2 g; • Teor de anidrido maleico de 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 e 2 g. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • Grau máximo de enxertia de 1,58% para a composição ABS/MA/DCP (20/1,2/0,2 g); • Redução da estabilidade térmica do ABS funcionalizado; • DRX - aumentou a intensidade da banda do ABS com a modificação química.
Biswal <i>et al.</i> (2013)	Misturador Brabender sob temperatura de 220 °C e velocidade de rotação de 75 rpm.	<ul style="list-style-type: none"> • ABS seco em estufa sob 80°C por 5 h; • Teor de ABS fixo em 100 g; • Teor de peróxido de dicumila (DCP) fixo de 0,1 phr; • Teor de anidrido maleico de 3; 5 e 7 phr. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • Grau máximo de enxertia de 2,96% para a composição ABS/MA/DCP (100g/ 7 phr/0,1 phr); • O mecanismo de enxerto ocorreu na região do butadieno.
Elmaghor <i>et al.</i> (2004)	Misturador Brabender sob temperatura de 220 °C e velocidade de rotação de 75 rpm.	<ul style="list-style-type: none"> • Teor de ABS fixo em 100 g; • Teor de peróxido de dicumila (DCP) fixo de 0,1 phr; • Teor de anidrido maleico de 0,5; 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 e 5,5 phr. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • Grau máximo de enxertia de 3,15 % para a composição ABS/MA/DCP (100g/5,5 phr/0,1 phr) para 5 min de mistura; • O tempo de mistura tem influência no grau de enxertia. À medida que aumentou o tempo de mistura, houve um acréscimo no grau de enxertia.
Olongal <i>et al.</i> (2018)	Misturador interno sob temperatura de 150 °C e velocidade de rotação de 45 rpm.	<ul style="list-style-type: none"> • Teor de ABS fixo em 20 g; • Teor de peróxido de dicumila (DCP) fixo de 0,2 g; • Teor de anidrido maleico fixo de 1 g. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • Grau de enxertia de 4,6% para uma composição ABS/MA/DCP (20/1/0,2 g); • DRX - aumentou a intensidade da banda do ABS com o enxerto de anidrido maleico.
Ma <i>et al.</i> (2006)	Extrusora dupla rosca sob temperatura de 160 °C e velocidade de rotação de 40 rpm.	<ul style="list-style-type: none"> • ABS seco em estufa sob 80°C por 12 h; • Teor de ABS fixo em 50 g; • Teor de peróxido de dicumila (DCP) fixo de 3 g; • Teor de anidrido maleico de 0,5; 1,5; 2,5 e 5 g; • Adição de monômero de estireno (st) no teor de 0,5; 1,6; 2,7 e 5,3 g. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • Grau de enxerto relativo máximo de 7,33 para uma composição ABS/MA/DCP/st (50/5/3/5,3 g).

<p>Qi <i>et al.</i> (2005)</p>	<p>O processo realizado por solução em um recipiente selado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ABS seco em estufa sob 80°C; • Teor de ABS fixo em 5 g; • Teor de Peróxido de benzoíla (PB) de 0,1 e 0,2 g; • Teor de anidrido maleico de 0,4; 0,6 e 1,0; 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • RMN – aparecimento de um novo pico a 3.736 ppm, atribuído ao próton de hidrogênio do anel anidrido; • O grau de enxerto aumentou com o acréscimo do teor do iniciador e do tempo de reação, alcançando o máximo e depois oscilando; • O grau de enxerto foi inicialmente aumentado com o aumento do conteúdo de MA, da concentração de ABS e da razão molar de estireno/ MA, atingindo o máximo e depois diminuindo com um aumento adicional do conteúdo de MA; • O grau de enxerto aumentou com o acréscimo da temperatura de reação.
<p>Qi <i>et al.</i> (2003)</p>	<p>Extrusora dupla rosca sob temperatura de 185, 190, 190, e 190°C, com velocidade de rotação de 20 rpm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ABS seco em estufa sob 80°C; • Teor de ABS fixo em 100 g; • Teor de peróxido de dicumila (DCP) na faixa de 0,1 até 1 % em massa; • Teor de Peróxido de benzoíla (PB) na faixa de 0,1 até 1 % em massa; • Teor de anidrido maleico de 2,0; 3,0 e 3,5 g; • Adição de monômero de estireno (st) no teor de 0,75; 1,0 e 1,1 g. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1780 cm⁻¹; • O enxerto ocorreu na região do butadieno presente no ABS; • O DCP é mais eficaz do que o PB para a reação de enxertia de MA no ABS; • O grau de enxerto aumentou com o aumento na concentração de anidrido maleico; • O uso de estireno como e DCP/ PB como iniciadores foi benéfico para a o processo de enxertia; • Um tempo de reação mais longo e uma força de cisalhamento mais forte foram benéficos para a reação de enxertia; • O grau de enxertia sofreu acréscimo com o aumento da temperatura.
<p>Rao <i>et al.</i> (1999)</p>	<p>O processo realizado por solução em um recipiente, com temperatura de 90°C e durante 3 h.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • ABS seco em estufa sob 60°C; • Teor de ABS fixo em 0,6 g; • Teor de Peróxido de benzoíla (PB) fixo em 0,06 g; • Teor de anidrido maleico fixo em 0,6 g; 	<ul style="list-style-type: none"> • FTIR – aparecimento da banda da carbonila em 1790 cm⁻¹; • A temperatura inicial de decomposição do ABS enxertado com anidrido maleico aumentou, em comparação ao ABS puro; • Os valores da transição vítrea (Tg) foram aumentados com o aumento do rendimento do enxerto de MA; • O enxerto ocorreu na região da dupla ligação do butadieno.

Atualmente, há trabalhos sendo desenvolvidos com enxertos multifásicos, utilizando anidrido maleico (MA) e o estireno (St) pelo processo de fusão (Sui e Xie, 2019). O desenvolvimento do ABS com enxerto multifásico pode ampliar a eficiência do grupo funcional, uma vez que o monômero de estireno (st) pode aumentar significativamente

o grau de enxerto (Li et al., 2001). Em geral, a funcionalização do ABS é uma ferramenta essencial para aumentar a interação com outros polímeros de engenharia com grupos funcionais na cadeia e, como consequência, o ABS funcionalizado pode ser tornar um eficiente modificador de impacto.

3.4 Aplicação como Modificador de Impacto da Poliamida (6)

Muitos polímeros de engenharia apresentam uma limitação quando utilizados em baixas temperaturas, uma vez que ocorre uma significativa redução na resistência ao impacto (Majumdar et al., 1994). A opção mais utilizada para melhorar a resistência ao impacto em temperaturas subambientais é por meio da adição de modificadores de impacto, visando a tenacificação (Luna et al., 2019; Rabello e Paoli, 2013). Em geral, a dispersão de copolímeros/terpolímeros com características elastoméricas na matriz polimérica é uma das técnicas mais utilizadas por grande parte das indústrias de polímeros para aumentar a resistência ao impacto (Correa, 1993). Nesse contexto, o uso do ABS como modificador de impacto para polímeros de engenharia, como a poliamida 6 (PA6) é bastante explorado (Chang et al., 1994; Fernandes et al., 2018).

A poliamida 6 (PA6) pertence a uma classe atraente de termoplásticos de engenharia devido à sua boa resistência ao desgaste, as boas propriedades mecânicas de tração e a alta resistência ao impacto quando não entalhada (Oliveira et al., 2017). No entanto, a PA6 apresenta o inconveniente de falhar com um comportamento frágil quando contém um concentrador de tensão (Luna et al., 2014). O ABS tem sido utilizado para tenacificar a PA6, devido principalmente às suas propriedades intrínsecas de termoplástico e alta tenacidade (Correa et al., 2007).

A mistura direta de PA6/ABS é imiscível e incompatível, gerando baixas propriedades mecânicas (Araújo et al., 2003c; Arsad et al., 2011). De fato, misturas de PA6/ABS (60/40% em massa) foram processadas em uma extrusora e injetadas, por Oliveira et al. (2011). A presença de 40% de ABS na mistura não alterou muito a rigidez da PA6, uma vez que o resultado obtido para o módulo desta foi bem próximo ao encontrado para a matriz PA6 pura. Todavia, a mistura pode ser considerada frágil e incompatível, visto que reduziu a resistência ao impacto em 10%, em comparação com a PA6. Como consequência, o ABS isoladamente não tenacifica a PA6. Para contornar esse problema, geralmente, a PA6 pode ser tenacificada com o terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno modificado com anidrido maleico (ABS-MA), tendo em vista uma sinergia de propriedades (Rzayev, 2011). As misturas de PA6/ABS-MA envolvem reações químicas, com os grupos anidrido maleico do ABS-MA e os grupos terminais amina da PA6 durante a mistura do fundido, formando o grupo imida (Carvalho e Sirqueira, 2016; Luna et al., 2020). A Figura 4 apresenta um modelo hipotético para a reação do sistema PA6/ABS-MA.



Figura 4 - Reação hipotética para o sistema PA6/ABS-MA.

Fonte: Adaptado de Carvalho e Sirqueira (2016).

As misturas de poliamida PA6/ABS-MA atraíram considerável atenção acadêmica e da indústria, devido às suas importantes aplicações no campo automotivo e eletrônico (Tomic e Marinkovic, 2020).

Xu et al. (2008) avaliaram a tenacificação da PA6 com o terpolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno funcionalizado com anidrido maleico (ABS-g-MA), obtido por meio do processo de polimerização em emulsão. As blendas PA6/ABS-MA (85/15; 80/20; 75/25 e 70/30% em massa) foram preparadas, inicialmente, em uma extrusora e, posteriormente, os grânulos extrudados foram moldados por injeção. Um aumento na viscosidade foi observado por reometria de toque, indicando reações químicas entre a PA6 e o ABS-g-MA. A presença de 1% de anidrido maleico no ABS-MA é suficiente para supertenacificar às blendas PA6/ABS-MA (25 e 30%), com absorção de energia superior a 800 J/m e, ao mesmo tempo, diminuindo a temperatura de transição dúctil-frágil de 50 para 10°C. A microscopia eletrônica de varredura (MEV) mostrou que o ABS-MA estava bem disperso na matriz de PA6, contribuindo para o alto desempenho da resistência ao impacto. As propriedades de módulo elástico e tensão de escoamento praticamente não modificaram de forma significativa, somente uma manutenção dos valores.

Fu et al. (2013) prepararam misturas de PA6/ABS funcionalizado com anidrido maleico, visando a tenacificação. Observou-se que ocorreu uma reação na interface, contribuindo para diminuir a tensão interfacial e impedir a aglomeração do ABS-g-MA. Como consequência, a reação da interface foi benéfica para aprimorar e aumentar a tenacidade e a rigidez. Contudo, a utilização do terc-dodecil mercaptana (TDM) como modificador de enxerto mostra influência significativa nas propriedades mecânicas. Quando o teor de TDM é menor, pode-se constatar que a transição frágil-dúctil ocorre entre 20 e 25% do conteúdo de ABS-MA. Para as misturas PA6/ABS-g-MA com maior teor de TDM, a transição frágil-dúctil ocorreu entre 30-40% do conteúdo de ABS-g-MA. Portanto, a eficiência da tenacificação diminui para as partículas de ABS-g-MA com maior teor de TDM. Em geral, quando o conteúdo de TDM foi de 0,28%, a mistura PA6/ABS-g-MA apresentou a maior tenacidade superior e rigidez.

O terpolímero acrilonitrila-butadieno-estireno funcionalizado com anidrido maleico (ABS-g-MA) foi usado como modificador de impacto da poliamida 6 (PA6), em um trabalho

de Shulin et al. (2011). A PA6 pura é sensível ao entalhe e apresentou resistência ao impacto Izod de 30 J/m. A resistência ao impacto da PA6 foi melhorada significativamente com a adição do ABS-g-MA. A transição frágil-dúctil ocorreu quando o teor de ABS-g-MA estava entre 25 e 30% em peso, gerando uma resistência ao impacto na ordem de 960 J/m, com a incorporação de 30% em peso de ABS-g-MA.

Monômeros reativos como ácido acrílico (AA), anidrido maleico (MA) e glicidil metacrilato (GMA) foram enxertados em acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) pelo método de polimerização por emulsão. Esses ABS funcionalizados foram utilizados para tenacificar a PA6, visando analisar a eficácia de cada grupo reativo. Os resultados de resistência ao impacto foram mais expressivos quando o ABS foi modificado com GMA e MA, devido às reações interfaciais mais fortes. As misturas PA6/ABS-g-GMA e PA6/ABS-g-MA apresentaram valores de resistência ao impacto de 900 J/m e 950 J/m, respectivamente, indicando que são supertenazes. Por outro lado, a mistura PA6/ABS-g-AA apresentou resistência ao impacto na ordem de 230 J/m. A introdução de grupos reativos no ABS induz reações de compatibilização e maior resistência interfacial, levando a maior resistência à tração e alongamento na ruptura.

As propriedades térmicas, mecânicas e de difusão de blendas PA6/ABS, com e sem compatibilizante ABS-MA, foram testadas por Jang e Kim (2000). As blendas de PA6/ABS-MA aumentaram as propriedades de resistência à tração e flexão, impacto e dureza, em comparação com as blendas PA6/ABS. Por outro lado, a temperatura de fusão e a estabilidade térmica não foram significativamente afetadas. O aprimoramento das propriedades mecânicas nas blendas PA6/ABS-MA foi explicado pela formação de uma estrutura refinada, em decorrência das interações entre o anidrido maleico e os grupos terminais aminas da PA6. As misturas PA6/ABS e PA6/ABS-MA apresentam uma redução na absorção de água, em comparação com a PA6.

Recentemente, os compatibilizantes SEBS-g-(MA-co-St) e ABS-g-(MA-co-St) foram desenvolvidos por Sui e Xie (2019), tendo em vista avaliar o potencial na compatibilização da blenda PA6/ABS. A blenda PA6/ABS/SEBS-g-(MA-co-St) (70/15/15%) apresentou um aumento acentuado na resistência ao impacto e no alongamento na ruptura, com ganhos de 780 e 3866%, respectivamente, em comparação com a blenda PA6/ABS. A tensão de escoamento, o módulo elástico e a resistência à tração mantêm valores elevados. Por outro lado, o compatibilizante ABS-g-(MA-co-St) não foi eficiente para compatibilizar a blenda PA6/ABS, uma vez que as propriedades foram equiparáveis à blenda PA/ABS. A maior eficácia do SEBS-g-(MA-co-St) foi devido à facilidade da fase borracha para encapsular os domínios do ABS, o que foi confirmado pela microscopia eletrônica de varredura. Contudo, uma supertenacificação foi obtida ao desenvolver a blenda PA6/ABS-g - (MA-co-St)/SEBS-g-(MA-co-St) (70/15/15%), chegando a um ganho de mais de 1300% na resistência ao impacto e, de modo simultâneo, altos valores no alongamento na ruptura e na resistência à tração foram alcançados. Para essa blenda, não houve redução no módulo elástico,

somente um leve acréscimo. As blendas desenvolvidas apresentam potencial promissor para a área automotiva.

As misturas PA6/ABS-MA são de grande interesse tecnológico e comercial, devido aos méritos combinados de cada constituinte na mistura. A investigação de uma faixa de composição de ABS-MA na PA6 é necessária, visto que dependendo do teor de ABS-MA adicionado pode-se obter uma supertenacificação e, ao mesmo tempo, altas propriedades de tração. Contudo, há necessidade de avaliar o teor de anidrido maleico (MA) enxertado, uma vez que existe a concentração ideal para otimizar as propriedades (Bassani et al., 2002). O excesso de anidrido maleico pode saturar o sistema e, como consequência, prejudicar as propriedades mecânicas.

4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, foram apresentadas as principais características do ABS, o processo de funcionalização com anidrido maleico (MA) e a aplicação como modificador de impacto da poliamida 6. O processo de enxertia de anidrido maleico no ABS está consolidado na literatura técnica de polímeros, porém a eficiência do grau de enxertia será dependente das condições de processamento. O mecanismo de enxerto de MA no ABS ocorre na região do butadieno presente na cadeia, com possibilidade de haver o fenômeno da reticulação. A comprovação do enxerto pode ser realizada por meio das análises de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e ressonância magnética nuclear (RMN). Em geral, a eficácia do teor enxertado de anidrido maleico dependerá das condições de processamento utilizadas, como temperatura e velocidade dos rotores. Ao mesmo tempo, o tipo de processamento, o teor de anidrido maleico e o teor de peróxido afetam também o grau de enxertia. A presente revisão da literatura apresenta os principais artigos relacionados sobre a modificação química do ABS, indicando os principais resultados alcançados.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Ao mesmo tempo, os autores agradecem à UFCG, ao MCTIC/CNPq e à CAPES/PNPD pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

Adam, A. P., Gonçalves, J. V. R. V., Robison, L. C., Rosa, L. C., & Sscheider, E. L. (2017). Recycling and mechanical characterization of polymer blends present in printers. *Materials Research*, 20(2), 202-208.

Agrawal, P., Araújo, E. M., & Mélo, T. J. A. (2008). Reometria de torque, propriedades mecânicas e morfologia de blendas compatibilizadas de PA6/PEAD. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 18(2), 152-157.

- Agrawal, P., Rodrigues, A. W. B., Araújo, E. M., & Mélo, T. J. A. (2010). Influence of reactive compatibilizers on the rheometrical and mechanical properties of PA6/LDPE and PA6/HDPE blends. *Journal of Materials Science*, 45(1), 496–502.
- Agrawal, P., Rodrigues, A. W. B., Araújo, E. M., & Mélo, T. J. A. (2009). Blendas de PA6/PE: avaliação da reatividade de diferentes compatibilizantes com a PA6 por reometria de torque. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 4(3), 1-10.
- Alghadi, A. M., Tirkes, S., & Tayfun, U. (2020). Mechanical, thermo-mechanical and morphological characterization of ABS based composites loaded with perlite mineral. *Materials Research Express*, 7(1), 1-19.
- Araújo, E. M. (2001). Tenacificação da poliamida 6 com ABS por meio da técnica de compatibilização in situ com o uso de copolímeros acrílicos reativos. Tese de Doutorado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.
- Araújo, E. M., Júnior, E. H., & Carvalho, A. J. F. (2003a). Compatibilização de blendas de poliamida 6/ABS usando os copolímeros acrílicos reativos MMA-GMA e MMA-MA. Parte 1: comportamento reológico e propriedades mecânicas das blendas. *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, 13(3), 205-211.
- Araújo, E. M., Júnior, E. H., & Carvalho, A. J. F. (2003b). Morphological, mechanical and rheological properties of nylon 6/acrylonitrile-butadienestyrene blends compatibilized with MMA/MA copolymers. *Journal of Materials Science*, 38(17), 3515 – 3520.
- Araújo, E. M., Júnior, E. H., & Carvalho, A. J. F. (2003c). Effect of compatibilizer in acrylonitrile-butadiene-styrene toughened nylon 6 blends: Ductile–brittle transition temperature. *Journal of Applied Polymer Science*, 90(10), 2643-2647.
- Arsad, A., Rahmat, A. R., Hassan, A., Iskandar, S. N. (2011). Mechanical and rheological characterization of PA6 and ABS blends with and without short glass fiber. *Journal of Applied Polymer Science*, 11(13), 2313-2319.
- Arostegui, A., Sarrionandia, M., Aurrekoetxea, J., Urrutibeascoa, I. (2006). Effect of dissolution-based recycling on the degradation and the mechanical properties of acrylonitrile–butadiene–styrene copolymer. *Polymer Degradation and Stability*, 91(11), 2768-2774.
- Bassani, A., Pessan, L. A., & Júnior, E. H. (2002). Propriedades mecânicas de blendas de nylon-6/ acrilonitrila-EPDM-estireno (AES) compatibilizadas com copolímero acrílico reativo (MMA-MA). *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, 12(2), 102-108.
- Barra, G. M. O., Roeder, J., Soldi, V., Pires, A. T. N., & Agnelli, J. A. M. (2003). Blendas de poliamida 6/elastômero: propriedades e influência da adição de agente compatibilizante. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 13(2), 94-101.
- Baptista, C. A., & Canevarolo, S. V. (2017). Grafting polypropylene over hollow glass microspheres by reactive extrusion. *Polímeros*, 29(3), 1-9.
- Baptista, C. A., & Canevarolo, S. V. (2019). Grafting polypropylene over hollow glass microspheres by reactive extrusion. *Polímeros*, 29(3), e2019037.

Biswal, M., Mohanty, S., Nayak, S. K., & Babu, S. A. (2013). Effect of reactive compatibilizers and impact modifier on the performance characteristics of polycarbonate/poly (acrylonitrile-butadiene-styrene) blends obtained from e-waste. *International Journal of Plastics Technology*, 17(2), 209–225.

Braga, N. F., Passador, F. R., Saito, E., & Cristovan, F. H. (2019). Effect of graphite content on The mechanical properties of acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS). *Macromolecular Symposia*, 383(1), 1800018.

Carvalho, A. P. A., & Sirqueira, A. S. (2016). Effect of compatibilization in situ on PA/SEBS blends. *Polímeros*, 26(2), 123-128.

Castro, L. D. C., Oliveira, A. D., Kersch, M., Altstadt, V., & Pessan, L. A. (2016). Effects of mixing protocol on morphology and properties of PA6/ABS blends compatibilized with MMA-MA. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(27), 1-8.

Carrot, C., Guillet, J., & May, J. F. (1991). Blends of polyamide 6 with ABS: effect of a compatibilizer on adhesion and interfacial tension. *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, 16(1), 61-66.

Chang, H. H., Wu, J. S., Chang, F. C. (1994). Reactive compatibilization of ABS/nylon 6,6 blends: effects of reactive group concentration and blending sequence. *Journal of Polymer Research*, 1(3), 235-245.

Chitanu, G. C., Zaharia, L. I., & Carpov, A. (1997). Review: analysis and characterization of maleic copolymers. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 4(1), 1-20.

Cordella, C. D. (2000). Funcionalização do copolímero em bloco estireno-butadieno-estireno (SBS) e sua utilização em misturas com nylon 6. *Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, SP, Brasil.*

Correa, C. A. (1995). Caracterização de polímeros multifásicos. Parte 1: processamento e morfologia. *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, 5(1), 24-33.

Correa, C. A., Yamakawa, R. S., Razzino, C. A., Júnior, E. H. (2007). Tenacidade à fratura de blendas PA 6/ABS avaliada através do método EWF (Trabalho Essencial de Fratura) – Parte A: avaliação do efeito do compatibilizante. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 17(1), 36-45.

Cong, P., Chen, S., & Chen, H. (2011). Preparation and properties of bitumen modified with the maleic anhydride grafted styrene-butadiene-styrene triblock copolymer. *Polymer Engineering and Science*, 51(7), 1273-1279.

Debbah, I., Krache, R., Aranburu, N., Fernandez, M., & Etxeberria, A. (2018). Effect of SEBS-g-MAH addition on the mechanical, rheological, and morphological properties of polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene blends. *Journal of Elastomers & Plastics*, 50(7), 611-633.

Diop, M. F., & Torkelson, J. M. (2013). Maleic anhydride functionalization of polypropylene with suppressed molecular weight reduction via solid-state shear pulverization. *Polymer*, 54(16), 4143-4154.

Elmaghor, F., Zhang, L., Fan, R., & Li, H. (2004). Recycling of polycarbonate by blending with maleic anhydride grafted ABS. *Polymer*, 45(19), 6719-6724.

- Ferreira, L. A. S., Pessan, L. A., & Júnior, E. H. (1997). Comportamento mecânico eterno-mecânico de blendas poliméricas PBT/ABS. *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, 7(1), 67-72.
- Fernades, J. P. C., Castro, L. D. C., Mareau, V. H., Pessan, L. A.; Gonon, L. (2018). New insights on the compatibilization of PA6/ABS blends: A co-localized AFM-Raman study. *Polymer*, 146(6), 151–160.
- Fink, J. K. (2010). *Handbook of engineering and speciality thermoplastics: polyolefins and styrenics* (1a ed.). Nova Jersey: Wiley.
- Fu, Y., Song, H., Zhou, C., Zhang, H., & Sun, S. (2013). Modification of the grafting character to prepare PA6/ABS-g-MA blends with higher toughness and stiffness. *Polymer Bulletin*, 70(12), 1853–1862.
- Felthouse, T. R., Burnett, J. C., Horrell, B., Mummey, M. J., & Kuo, Y.J. (2001). Maleic Anhydride, Maleic Acid, and Fumaric Acid. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. Doi:10.1002/0471238961.1301120506051220.a01.pub2
- Gezaz, S. M., & Khoshhal, A. (2017). Phase Morphology and dynamic mechanical properties of nylon 6 based blends prepared via successive in situ ring opening polymerization. *Journal Journal of Macromolecular Science, Part B Physics*, 56(4), 262-278.
- Haik, M. Y. A., Siddique, W., Kabir, M. M., Aldajah, S., & Haik, W. (2019). Mechanical and thermal characterization of functionalized maleic anhydride grafted polypropylene. *Materials Research Express*, 6(10), 105367.
- Hirayama, D.; Saron, C. (2018). Morphologic and mechanical properties of blends from recycled acrylonitrile-butadiene-styrene and high-impact polystyrene. *Polymer*, 135(1), 271-278.
- Jang, S. P., & Kim, D. (2000). Thermal, mechanical and diffusional properties of nylon 6/ABS polymer blends: compatibilizer effect. *Polymer Engineering & Science*, 40(7), 1635-1642.
- Jin, F.L., Lu, S.L., Song, Z.B., Pang, J.X., Zhang, L., Sun, J.D., & Cai, X. P. (2010). Effect of rubber contents on brittle–tough transition in acrylonitrile-butadiene-styrene blends. *Materials Science and Engineering: A*, 527(15), 3438-3441.
- Júnior, S. V. C. (2002). *Ciência dos polímeros – um texto básico para tecnólogos e engenheiros* (1a ed.). São Paulo: Artliber Editora.
- Kamelian, F. S., Saljoughi, E., Nasirabadi, P. S., & Mousavi, S. M. (2018). Modifications and research potentials of acrylonitrile/butadiene/styrene (ABS) membranes: A review. *Polymer Composites*, 39(8), 2835-2846.
- Kulich, D. M., Gaggari, S. K., Lowry, V., & Stepien, R. (2003). Acrylonitrile-butadiene-Styrene (ABS) polymers. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, 1(1), 414-438.
- Kuram, E., Ozcelik, B., & Yilmaz, F. (2016). The effects of recycling process on thermal, chemical, rheological, and mechanical properties of PC/ABS binary and PA6/PC/ABS ternary blends. *Journal of Elastomers & Plastics*, 48(2), 164-181.
- Kurek, A. P., Dotto, M. E. R., Sellim, N., & Araújo, P. H. H. (2015). Tratamento químico superficial e metalização de ABS, PVC e blendas de PVC/ABS. *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, 25(2), 212-218.

- Li, C. W., & Lee, W. L. (1998). An Investigation on the modification of polypropylene by grafting of maleic anhydride based on the aspect of adhesion. *Journal of Applied Polymer Science*, 70(2), 383-387.
- Li, Y., Xie, X. M., & Guo, B. H. (2001). Study on styrene-assisted melt free-radical grafting of maleic anhydride onto polypropylene. *Polymer*, 42(8), 3419-3425.
- Liu, X., Zhou, T., Liu, Y., Zhang, A., Yuan, C., & Zhang, W. (2015). Cross-linking process of cis-polybutadiene rubber with peroxides studied by two-dimensional infrared correlation spectroscopy: a detailed tracking. *RSC Advances*, 14(5), 10231-10242.
- López, M. E. G.; Ortíz, J. R. R., González, R. M., Guzmán, J. A. S., & Fonseca, A. A. P. (2018). Polylactic acid functionalization with maleic anhydride and its use as coupling agent in natural fiber biocomposites: a review. *Composite Interfaces*, 25(5-7), 515-538.
- Luna, C. B. B., Silva, D. F., & Araújo, E. M. (2014). Estudo do comportamento de blendas de poliamida 6/resíduos de borracha da indústria de calçados. *Revista Univap*, 20(36), 98-110.
- Luna, C. B. B., Siqueira, D. D., Ferreira, E. S. B., Araújo, E. M., & Wellen, R. M. R. (2020). Reactive compatibilization as a proper tool to improve PA6 toughness. *Materials Research Express*, 6(12), 125367.
- Luna, C. B. B., Silva, D. F., Araújo, E. M., Mélo, T. J. A., Bezerra, E. O.T., Siqueira, D. D., & Oliveira, A. D. (2019). Blends of polystyrene/shoes waste (SBRr): influence of mixture sequence and compatibilizer. *Macromolecular Symposia*, 383(1), 1800046.
- Luna, C. B. B., Siqueira, D. D., Ferreira, E. S. B., Araújo, E. M., & Wellen, R. M. R. (2019b). Reactive compatilization of PCL/WP upon addition of PCL-MA. Smart option for recycling industry. *Materials Research Express*, 6(12), 125317.
- Mark, H. F., Bikales, N. M., Overberger, C. G., & Menges, G. (1985). Maleic and fumaric polymers. *Encyclopedia of Polymer Science and Engineering*. New York: John-Wiley & Sons.
- Majumdar, B., Keskkula, H., & Paul, D. R. (1994). Effect of the nature of the polyamide on the properties and morphology of compatibilized nylon/acrylonitrile-butadiene-styrene blends. *Polymer*, 35(25), 5468-5477.
- Ma, P., Jiang, L., Ye, T., Dong, W., & Chen, M. (2014). Melt free-radical grafting of maleic anhydride onto biodegradable poly(lactic acid) by using styrene as a comonomer. *Polymers*, 6(1), 1528-1543.
- Ma, H., Xu, Z., Tong, L., Gu, A., & Fang, Z. (2006). Studies of ABS-graft-maleic anhydride/clay nanocomposites: Morphologies, thermal stability and flammability properties. *Polymer Degradation and Stability*, 91(12), 2951-2959.
- Manaf, O., Sheeja, Jowhar, A., & Sujith, A. (2017). Effect of unsaturation on physicochemical properties of maleic anhydride-grafted acrylonitrile butadiene styrene terpolymer. *Journal of Elastomers & Plastics*, 50(6), 520-536.
- Montanheiro, T. L. A., Passador, F. R., Oliveira, M. P., Durán, N., & Lemes, A. P. (2016). Preparation and characterization of maleic anhydride grafted poly(hydroxybutirate-co-hydroxyvalerate) – PHBV-g-MA. *Materials Research*, 19(1), 229-235.

- Morais, D. D. S., Siqueira, D. D., Luna, C. B. B., Araújo, E. M., Bezerra, E. B., & Welen, R. M. R. (2019). Grafting maleic anhydride onto polycaprolactone: influence of processing. *Materials Research Express*, 6(5), 055315.
- Motta, K., Luna, M., Santos, J., & Romero, F. (2016). Uma revisão da literatura sobre transferência de tecnologia. *Holos*, 32(8), 255-272.
- Oliveira, A. D. (2009). Dispersão seletiva de argila montmorilonita em blendas poliméricas de PA6/ABS. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, Brasil.
- Oliveira, A. D., Castro, L. D. C., Beatrice, C. A. G., Lucas, A. A., & Pessan, L. A. (2017). Effect of maleic anhydride content in properties of PA6/AES blends compatibilized with MMA-MA. *Materials Research*, 20(6), 1-8.
- Oliveira, A. D., Larocca, N. M., Pessan, L. A. (2011). Efeito da sequência de mistura nas propriedades de blendas PA6/ABS compatibilizadas com o copolímero SMA. *Polímeros. Ciência e Tecnologia*, 21(1), 27-33.
- Olongal, M., Nainar, M. A. M., Marakkattupurathe, M., Asharaf, S. M. V., & Athiyathil, S. (2018). Effect of poly(ethylene-co-vinyl acetate) additive on mechanical properties of maleic anhydride-grafted acrylonitrile butadiene styrene for coating applications. *Journal of Vinyl and Additive technology*, 25(3), 287-295.
- Olivera, S., Muralidhara, H.B., Venkatesh, K., Gopalakrishna, K., Vivek, C. S. (2016). Plating on acrylonitrile–butadiene–styrene (ABS) plastic: a review. *J Mater Sci*, 51(8), 3657–3674.
- Peipeng, W., Qingchun, F., Shenyi, T., & Liangjun, Z. (2008). Application of ABS grafted with maleic anhydride in PA 6/ABS blend. *China Synthetic Resin and Plastics*, 25(2), 35-40.
- Qi, R., Chen, Z., & Zhou, C. (2005). Solvothermal preparation of maleic anhydride grafted onto acrylonitrile–butadiene–styrene terpolymer (ABS). *Polymer*, 46(12), 4098-4104.
- Qi, R., Qian, J., & Zhou, C. (2003). Modification of acrylonitrile–butadiene–styrene terpolymer by grafting with maleic anhydride in the melt. I. preparation and characterization. *Journal of Applied Polymer Science*, 90(5), 1249-1254.
- Rabello, M. S., & Paoli, M. A. (2013). *Aditivação de termoplásticos (2a ed.)*. São Paulo: Artliber Editora.
- Rabello, M. S. (2000). *Aditivação de polímeros (1a ed.)*. São Paulo: Artliber Editora.
- Rao, B. M., Rao, & P. R. Sreenivasulu, B. (1999). Grafting of maleic anhydride onto acrylonitrile-butadiene-styrene terpolymer: synthesis and characterization. *Polymer Plastics Technology and Engineering*, 38(5), 967-977.
- Riechert, V. M., Ferrofino, A. G., Ressia, J. A., Failla, M. D., & Quinzani, L. M. (2019). Modification of propylene- α -olefin copolymers by maleic anhydride grafting and blending. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 24(4), 355-373.
- Rutkowski, J. V. & Levin, B. C. (1986). Acrylonitrile–butadiene–styrene copolymers (ABS): Pyrolysis and combustion products and their toxicity—a review of the literature. *Fam Fire and Materials*, 10(3-4), 93-105.

- Rzayev, Z. M. O. (2011). Graft copolymers of maleic anhydride and its isostructural analogues: high performance engineering materials. *International Review of Chemical Engineering*, 3(2), 153-215.
- Sayed, W. M. (2008). Preparation of modified polystyrene with maleic anhydride in the presence of different solvents. *Journal of Applied Polymer Science*, 109(6), 4099-4104.
- Shao, H., Qin, S., Guo, J., & Wu, B. (2015). Melt grafting copolymerization of glycidyl methacrylate onto acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) terpolymer. *Science and Engineering of Composite Materials*, 22(4), 391-398.
- Shi, D., Yang, J., Yao, Z., Wang, Y., Huang, H., Jing, W., Yin, J., & Costa, G. (2001). Functionalization of isotactic polypropylene with maleic anhydride by reactive extrusion: mechanism of melt grafting. *Polymer*, 42(13), 5549-5557.
- Shulin, S., Zhuo, C., Lili, S., & Huixuan, Z. (2011). Influence of epoxy resin on the properties of maleic anhydride functionalized acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer toughened polyamide 6 blends. *Journal of Applied Polymer Science*, 121(2), 909-915.
- Simielli, E. R., & Santos, P. A. (2010). *Plásticos de engenharia – principais tipos e sua moldagem por injeção* (1a ed.). São Paulo: Artliber Editora.
- Siqueira, D. D., Luna, C. B. B., Morais, D. D. S., Araújo, E. M., França, D. C., & Wellen, R. M. R. (2018). Efeito das variáveis reacionais na síntese de um polímero biodegradável funcionalizado: PCL-g-MA. *Matéria* (Rio de Janeiro), 23(4), e-12252.
- Siqueira, D. D., Morais, D. D. S., Araújo, E. M., Luna, C. B. B., & Wellen, R. M. R. (2017). Otimização da Funcionalização de um Polímero Biodegradável Utilizando Planejamento Fatorial. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, 12(3), 192-198.
- Smith, W. F., Hashemi, J. (2012). *Fundamentos de engenharia e ciência dos materiais* (5a ed.). Porto Alegre: AMGH.
- Sun, S., Chen, Z., & Zhang, H. (2008). Effect of reactive group types on the properties of core-shell modifiers toughened PA6. *Polymer Bulletin*, 61(7), 443-452.
- Sui, X., & Xie, X. M. (2019). Creating super-tough and strong PA6/ABS blends using multi-phase compatibilizers. *Chinese Chemical Letters*, 30(1), 149-152.
- Tomic, N. Z., Marinkovic, A. D. (2020). *Compatibilization of polymer blends*. Amsterdã: Elsevier, 2020.
- Ulker, A.; Oztoprak, N., Sayer, S., & Yenic, C. (2018). Optimization of welding parameters of hot plate welded PC/ABS blends by using the Taguchi experimental design method. *Journal of Elastomers & Plastics*, 50(2), 162-181.
- Xu, X. Y., Sun, S. L., Chen, Z. C., & Zhang, H. X. (2008). Toughening of polyamide 6 with a maleic anhydride functionalized acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer. *Journal of Applied Polymer Science*, 109(4), 2482-2490.
- Zhao, Y., Ma, C., Cheng, S., Xu, W.; Du, Y., Bao, Y., & Xiao, Z. (2018). Maleic anhydride-grafted isotactic polybutene-1 and modified polyamide 6. *Polymers*, 10(1), 1-12.

Zhang, N.; Bao, X. X.; Tan, Z. Y.; Sun, S. L.; Zhou, C.; Yang, H. D.; Zhang, H. X. (2007). Morphology and mechanical properties of ABS blends prepared from emulsion-polymerized PB-g-SAN impact modifier with AIBN as initiator. *Journal of Applied Polymer Science*, 105(3), 1237- 1243.

Zhang, Y., & Li, H. (2003). Functionalization of high density polyethylene with maleic anhydride in the melt state through ultrasonic initiation. *Polymer Engineering and Science*, 43(4), 774-782.

Zhenjia, Q., Gang, C., Yu, Z., Yizhou, Z., Haibo, Z., Lin, W., Xiang, H., & Chao, W. (2012). The Addition of ABS-g-MAH on properties of nylon6/ABS alloy. *Key Engineering Materials*, 501(1), 196-201.

Zhijun, C., Yilong, W., & Chen, Z. (2012). Preparation of grafted ABS and compatibilization of r-PET/ABS blends by the grafted ABS. *China Synthetic Resin and Plastics*, 29(5), 30-33.

ANÁLISE DE DESGASTE NAS LASTRINAS DA CAIXA MATRIZ NA INDÚSTRIA DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 06/11/2020

Tiago da Silva Fernandes

UNISATC

Criciúma – SC

<http://lattes.cnpq.br/2349493395025169>

Anderson Daleffe

UNISATC

Criciúma – SC

<http://lattes.cnpq.br/7569701338186684>

RESUMO: Os desgastes prematuros em peças mecânicas nas indústrias geram perdas expressivas de produção, custos e gastos com mão de obra de manutenção. Em uma empresa de revestimentos cerâmicos que produz porcelanato técnico com massa altamente abrasiva proporcionada pelo alto teor de matérias primas de natureza feldspáticas, o desgaste prematuro é um dos problemas característicos da linha de produção, isso ocorre de forma relevante na prensagem do porcelanato, onde acontece a compactação do pó cerâmico e decorre o desgaste nas lastrinas que revestem a cavidade da caixa matriz. Esta pesquisa tem como objetivo comparar três condições diferentes para cada grupo de amostras. Através do ensaio em abrasômetro roda de borracha em areia seca seguindo a norma da *American Society for Testing and Materials* (ASTM G65), foram preparados corpos de prova em amostras com aço ferramenta conforme classificação

da *American Iron and Steel Institute* (AISI) D6; sem tratamento superficial, com tratamento superficial de cromagem e com revestimento aspergido por *High Velocity Oxy-Fuel* (HVOF) de carboneto de tungstênio. Em paralelo a pesquisa no laboratório foram feitos testes práticos na linha de produção, para poder coletar dados reais do processo produtivo com as mesmas três condições. Os resultados preliminares nos corpos de prova dos testes práticos indicaram que o tratamento com aspersão térmica de carboneto de tungstênio apresentou melhor rendimento comparado aos outros dois testes. A durabilidade das caixas matriz expostas em variação percentual, obtiveram vida útil média de 36,29% com tratamento superficial de cromagem e 586,68% com revestimento aspergido, ambas relacionadas com o valor de durabilidade média das caixas matriz sem tratamento superficial. Essa pesquisa demonstrou através dos resultados prático e laboratorial, a eficácia do tratamento de superfícies com aplicação de aspersão térmica contra os efeitos nocivos que os desgastes abrasivos provocam nas indústrias. **PALAVRAS-CHAVE:** Revestimentos cerâmicos. Desgaste abrasivo. Aspersão térmica.

WEAR ANALYSIS ON MATRIX BOX BALLASTINES IN THE CERAMIC TILE INDUSTRY

ABSTRACT: Premature wear on mechanical parts in industries generates significant production losses, costs and maintenance labor expenses. In a ceramic tile company that produces technical porcelain tiles with a highly abrasive mass provided by the high content of feldspatic raw

materials, premature wear is one of the characteristic problems of the production line. This occurs significantly in the pressing of porcelain tiles, where the ceramic powder is compacted and wear occurs in the ballast that cover the cavity of the matrix box. This research aims to compare three different conditions for each group of samples. Through the abrasometer test rubber wheel on dry sand following the American Society for Testing and Materials (ASTM G65) standard, specimens were prepared with tool steel according to American Iron and Steel Institute (AISI) D6 classification; without surface treatment, with chrome plating surface treatment and with tungsten carbide High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) sprayed coating. In parallel with the research in the laboratory, practical tests were made on the production line in order to collect actual data from the production process under the same three conditions. The preliminary results in the test bodies indicated that the treatment with thermal spraying of tungsten carbide showed better performance compared to the other two tests. The durability of the exposed matrix box in percentage variation, obtained an average lifetime of 36.29% with chrome plating surface treatment and 586.68% with sprayed coating, both related to the average lifetime value of matrix boxes without surface treatment. This research has demonstrated through practical and laboratory results, the effectiveness of surface treatment with thermal spraying against the harmful effects that abrasive wear causes in industries.

KEYWORDS: Ceramic coatings. Abrasive wear. Thermal aspersion.

1 | INTRODUÇÃO

Em uma indústria de revestimentos cerâmicos da região sul do Brasil, produz-se o porcelanato técnico. Um dos principais motivos que caracteriza este dos demais tipos de cerâmicas está relacionado ao processo que envolve alta tecnologia, conferindo ao produto absorção d' água abaixo de 0,1%, elevada resistência mecânica (>45 MPa) e ao desgaste. Esteticamente assemelham-se aos mármore e granitos e possuem a mesma coloração na base e na superfície do revestimento. Além da utilização de matérias-primas de alta qualidade, pressão de conformação entre 35-45 MPa e uma temperatura de queima aproximadamente de 1200 °C [1]. Sendo assim, o processo de fabricação exige várias etapas; extração e controle de matérias-primas, preparação de massa, atomização, mixagem, prensagem, secagem, decoração, queima, polimento, retífica e classificação.

A prensagem é a operação de conformação baseada na compactação do pó atomizado (massa) contido no interior de uma matriz rígida ou de um molde flexível, através da aplicação de pressão. A operação compreende três etapas ou fases: (1) preenchimento da cavidade do molde, (2) compactação da massa e (3) extração da peça [2].

Essas fases são realizadas através do equipamento de prensa hidráulica, que se caracteriza pela constância na força e no tempo do ciclo. Para o porcelanato técnico ser conformado nas prensas hidráulicas se faz necessário o uso de estampos, que garantem uma forma geométrica exata. Entretanto os estampos sofrem desgaste devido a massa cerâmica altamente abrasiva. A abrasividade acelera o desgaste nas caixas matriz inferior, que possui duas partes principais; a caixa matriz, que tem formato retangular e são

fabricadas em aço 1045 e a cavidade, que tem o formato da bitola do revestimento cerâmico, esta cavidade é revestida pelas lastrinas, que são fabricadas com aço ferramenta AISI D6. De acordo com o fabricante, o aço ferramenta D6 é um aço de alta estabilidade dimensional e excelente resistência à abrasão, com aplicações destinadas a ferramentas para trabalho a frio em geral, próprio para revestimento de moldes cerâmicos [3]. Como a qualidade do aço utilizado nas lastrinas é padrão e a massa do porcelanato técnico tem na sua formulação alta concentração de feldspato a provável causa do desgaste está relacionada com a abrasividade da massa. O principal objetivo da pesquisa é comparar três condições diferentes testadas na prática e em laboratório através do ensaio em abrasômetro roda de borracha em areia seca seguindo a norma ASTM G65. Foram analisados corpos de prova do aço ferramenta AISI D6 com diferentes tratamentos superficiais, assim como, testes práticos na própria linha de produção para poder coletar dados reais do processo produtivo. Após as devidas comparações será apresentado os resultados obtidos, destacando a melhor condição para reduzir a abrasão e conseqüentemente aumentar a vida útil das caixas matriz.

2 I ESTAMPOS PARA REVESTIMENTOS CERÂMICOS

A definição de estampos para fabricação de revestimentos cerâmicos está associada as condições e ferramentas; para moldagem, compactação e extração, utilizadas no processo de prensagem. Conforme a necessidade e as características dos revestimentos cerâmicos a empresa produtora determina o tipo de estampo [4]. A Fig. 1 apresenta um estampo tipo penetrante com suas ferramentas.

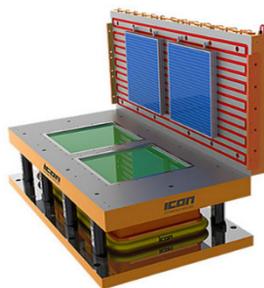


Figura 1: Estampo penetrante completo.

Fonte: Baseado de [5].

2.1 Estampo tipo penetrante

Neste tipo de estamperia o punção superior penetra na cavidade da caixa matriz

durante prensagem. O modelo tradicional utiliza como punção superior a muratura (após prensagem formam o desenho da parte inferior do revestimento cerâmico acabado). O modelo de estampo do estudo é chamado de penetrante invertido, onde o punção superior é liso ou relevo (após prensagem moldam a parte bela da peça cerâmica) [5].

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos da pesquisa, cumprindo os procedimentos das normas ASTM G65 [6] e dos ensaios, foram efetuadas fases preparatórias para alcançar os resultados previstos em laboratório. Em paralelo a pesquisa no laboratório executou-se testes práticos na linha de produção da indústria de revestimento cerâmicos, com o objetivo de coletar dados reais do processo produtivo com as mesmas condições.

3.1 Preparação das amostras

Foram preparados doze corpos de provas com a medida de 3" x 1" x 1/2" conforme a norma ASTM G65 [6], divididos em quatro amostras para três grupos de condições diferentes. As condições testadas foram em aço ferramenta AISI D6 sem tratamento superficial, aço ferramenta AISI D6 com tratamento superficial de cromagem e aço ferramenta AISI D6 com revestimento aspergido por HVOF de carboneto de tungstênio. As etapas de preparação das amostras foram executadas e disponibilizadas pela empresa ICON S.A Estampas e Moldes, Criciúma – SC.

3.1.1 Amostra em aço AISI D6 sem tratamento superficial

A partir de uma barra de aço ferramenta AISI D6, foram realizados os cortes das amostras em máquina policorte. Após as mesmas foram usinadas em fresadora manual para aproximar medidas estabelecidas pela norma conforme item 3.1. Posteriormente as amostras foram tratadas termicamente com processo de têmpera e revenido, resultando em uma dureza final de 59 HRC. Deste modo as amostras passaram pelo processo de retificação, determinando as dimensões finais de acordo com o item 3.1 em conformidade com a norma. Essas amostras do primeiro grupo não receberam nenhum tipo de tratamento superficial.

3.1.2 Amostra em aço AISI D6 com tratamento superficial de cromagem

As amostras do segundo grupo foram preparadas conforme as do grupo anterior, passaram pelos processos de corte, fresamento, tratamento térmico e acabamento em retífica determinando as medidas finais. Por conseguinte, as mesmas foram encaminhadas para tratamento superficial de cromagem, realizadas na empresa Cromocil Ltda., Içara - SC. Após tratamento superficial as amostras retornaram para empresa ICON para serem retificadas novamente, garantido acabamento e medidas conforme norma ASTM G65.

3.1.3 Amostra em aço AISI D6 com revestimento aspergido por HVOF de carboneto de tungstênio

Conforme os procedimentos descritos anteriormente no primeiro grupo, estas amostras também seguiram os processos de preparação. Assim os corpos de prova do terceiro grupo foram enviadas a empresa Rijeza Metalurgia Ltda., localizada na cidade de São Leopoldo – RS, para aplicação de revestimento de carboneto de tungstênio utilizando o processo de aspersão óxi-combustível de alta velocidade, denominado como HVOF. De acordo com os procedimentos de aplicação da empresa foram executadas etapas; de limpeza de superfície, para eliminar todo contaminante e o jateamento com óxido de alumínio para gerar rugosidade necessária para ancoramento do revestimento. Assim sendo aplicou-se o revestimento, nessa etapa controlou-se as distâncias, velocidades periféricas e ângulos de ataque do processo [7]. No ensaio de desgaste em abrasômetro apenas uma das faces com medida 1” x 3” foram ensaiadas, portanto a aspersão térmica ocorreu somente nesta área específica. Logo após, as mesmas retornaram para a empresa ICON para acabamento em retífica e padronização de medidas conforme norma ASTM G65.

3.2 Preparação para realização de ensaios

Primeiramente destinou-se os corpos de prova para desmagnetização, devido as etapas de retificação das faces, visto que, a retífica utiliza mesa magnética, se fez necessário desmagnetizar as amostras utilizando equipamento desmagnetizador. Em seguida as mesmas foram limpas com detergente neutro em água corrente e depois levados à cuba ultrassônica, com banho de álcool etílico 99,5% por 10 minutos, com a finalidade de retirar sujeira de óleo, gordura, etc [8]. Este procedimento de limpeza realizou-se nos corpos de prova para verificação de massa inicial, massa final após ensaio de desgaste e para execução dos ensaios de microdureza e rugosidade de superfície. Posteriormente efetuou-se a secagem e com o instrumento Rugosímetro de modelo Mitutoyo SJ-310 verificou-se a leitura de rugosidade das superfícies das amostras, conforme a norma de ensaio ASTM G65 que admite o valor de rugosidade máxima de Rz 0,8 µm. Enfim destinou-se as amostras para serem reconhecidas sua massa inicial, em balança analítica modelo BEL M214Ai com precisão de quatro casas após a vírgula, com calibração interna. A massa inicial referida para cada corpo de prova será a média aritmética de três medições consecutivas.

3.3 Ensaios de dureza

A determinação da dureza Vickers, realizou-se em um microdurômetro Shimadzu HMV-2TADW, com carga aplicada de 1,96 N e com tempo de penetração de 10 segundos. Realizou-se o ensaio nos três tipos de condições de acordo com item 3.1.

3.4 Ensaios de desgaste abrasivo

Os ensaios de desgaste em roda de borracha em areia seca foram executados

no abrasômetro do Laboratório de Desgaste de Superfície – LDS, do departamento de mestrado da UNISATC. Utilizou-se o procedimento “A” da norma ASTM G65, segundo o método, indicado para condições severas de classificação de materiais de média a elevada resistência a abrasão. Os parâmetros de teste configurados no aparelho foram os seguintes: força normal 130 N, rotação da roda de borracha 200 rpm, vazão da areia 300 g/min, tipo de areia NBR 7214 N°. 50 e duração do ensaio 6089 rpm [8]. Foram ensaiados nove corpos de provas do aço ferramenta AISI D6 divididos em três grupos de acordo com as condições citadas no item 3.1, todos os testes cumpriram os parâmetros descritos acima. A identificação de cada grupo seguiu da seguinte forma; amostras sem tratamento: 1.1, 1.2 e 1.3, cromagem: 2.1, 2.2 e 2.3 e aspersão térmica: 3.1, 3.2 e 3.3. Após este ensaio efetuou-se uma limpeza no equipamento de abrasômetro, com a finalidade de remover toda areia utilizada. Posteriormente aconteceu um novo experimento com os parâmetros do procedimento “A” da norma, entretanto substituiu-se o tipo de abrasivo. Com o intuito de comparar a perda de volume em mm³ entre a areia padrão da norma ASTM G65 e a massa cerâmica (pó atomizado) do porcelanato técnico; testou-se em três corpos de provas essa condição proposta. As amostras foram identificadas com numeração: 1.4 sem tratamento, 2.4 cromagem e 3.4 aspersão térmica. Além disso realizou-se o procedimento de limpeza conforme citado no item 3.2, de todas as amostras ensaiadas no abrasômetro. Enfim encaminhou-se as doze amostras para coletar os valores da massa final em balança analítica modelo BEL M214Ai com precisão de quatro casas após a vírgula.

3.5 Testes práticos

As lastrinas da caixa matriz do processo de prensagem utilizam como padrão o aço ferramenta AISI D6 com tratamento térmico de têmpera e revenimento, que conferem uma dureza de 59-60 HRC. A Fig. 2 apresenta uma lastrina da caixa matriz com desgaste abrasivo.



Figura 2: Lastrina com desgaste abrasivo.

Fonte: Dos autores (2019).

Conforme a indicação da Fig. 2, essa região apresentou um arredondamento após o desgaste, gerando defeitos no material prensado. Devido à baixa durabilidade e constantes setup de máquina, foram preparados para testes em produção: uma caixa matriz com as lastrinas tratadas superficialmente com cromo duro e outra condição na qual as lastrinas receberam o revestimento aspergido de carboneto de tungstênio por HVOF. Abaixo na Fig. 3 é apresentado uma vista em corte com as principais medidas do estampo no processo de compactação.

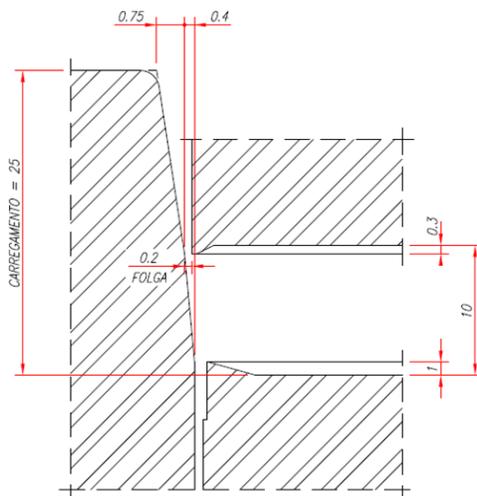


Figura 3: Vista em corte estampo penetrante.

Fonte: Dos autores (2019).

As medidas referentes a Fig. 3, observa-se; a altura do carregamento com pó atomizado de 25 mm, a folga de 0,2 mm entre o punção superior e a lastrina da caixa matriz, a espessura final do material pós prensagem de 10 mm e as medidas do ângulo de extração 0,75 mm e ângulo de prensagem 0,4 mm. O desgaste abrasivo da Fig. 2, é classificado como a três corpos. Analisando a Fig. 3, especificamente a região entre o ângulo de prensagem e a folga de 0,2 mm, somado ao arraste das partículas de pó atomizado que é direcionado contra a lastrina, podemos observar a existência desse fenômeno que afeta o sistema devido a repetibilidade do processo.

4 | ANÁLISE DOS DADOS

Neste capítulo irá se apresentar e comparar os dados coletados em laboratório e na prática das três condições testadas; e dessa forma analisar qual a melhor alternativa para reduzir o desgaste abrasivo nas lastrinas da caixa matriz da indústria de revestimentos

cerâmicos.

4.1 Experimento em laboratório

Os experimentos realizados em laboratório foram: os ensaios de dureza e abrasão. No abrasômetro os ensaios aconteceram em dois momentos, inicialmente foram verificados os resultados dos testes de desgaste em abrasômetro seguindo a norma, logo após os resultados em abrasômetro com massa cerâmica.

4.1.1 Ensaios de microdureza

Os valores da microdureza são mostrados na Fig. 4, com objetivo de confrontar a dureza das condições ensaiadas.

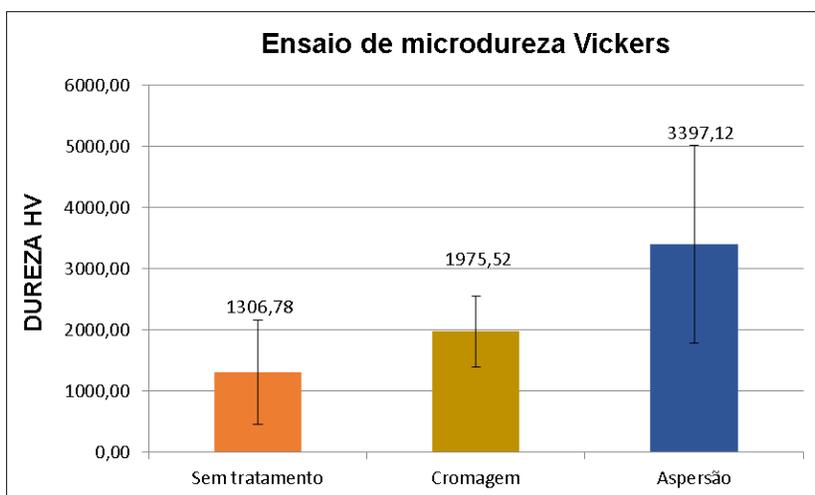


Figura 4: Gráfico de ensaio de dureza.

Fonte: Dos autores (2019).

Como demonstra o gráfico de microdureza as amostras com aspersão térmica atingiram uma dureza média de 3397 HV, que equivale ao valor de 73% maior que a média com cromagem e 160% maior que sem tratamento.

4.1.2 Ensaios de desgaste roda de borracha em areia seca norma ASTM G65

Os dados obtidos de perda de massa nos ensaios de desgaste em abrasômetro, posteriormente foram convertidos a perda de volume conforme Eq. 1. A Fig. 5 apresenta os resultados de perda de volume em mm^3 realizados em abrasômetro no LDS.

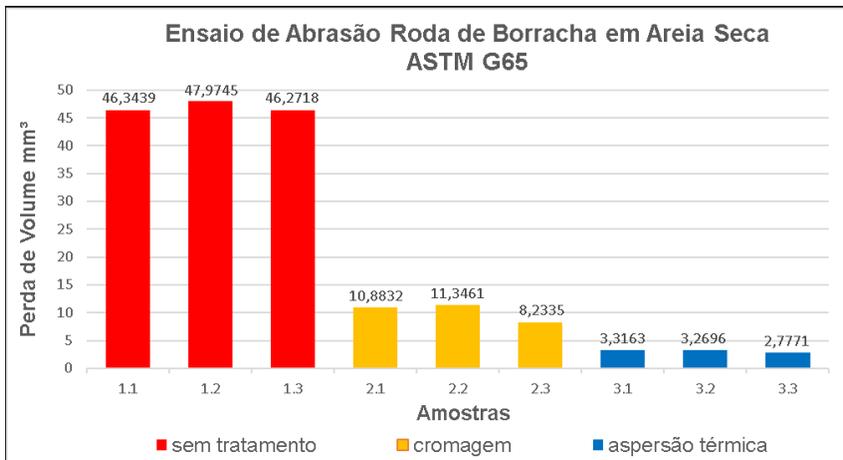


Figura 5: Gráfico de perda de volume em mm³.

Fonte: Dos autores (2019).

Conforme os resultados do gráfico podem-se constatar que as amostras de carboneto de tungstênio aplicados por aspersão térmica obtiveram valores de perda de volume em mm³ consideravelmente menores, comparados as outras duas condições ensaiadas. As variações em percentual de perda de volume entre os corpos de prova de cromagem e aspersão relacionando-os com os sem tratamento, foram: cromagem 78,33% e aspersão 93,34% menores. Consequentemente as amostras de aspersão térmica possuem uma resistência à abrasão maior, e as sem tratamento tiveram o maior volume perdido e maior nível de desgaste.

4.1.3 Ensaio de desgaste em abrasômetro com massa cerâmica (pó atomizado)

Os dados obtidos de perda de massa no ensaio de desgaste em abrasômetro utilizando a massa cerâmica (pó atomizado), foram transformados a perda de volume conforme Eq. 1, da norma ASTM G65. A Fig. 6 demonstra os valores desse teste.

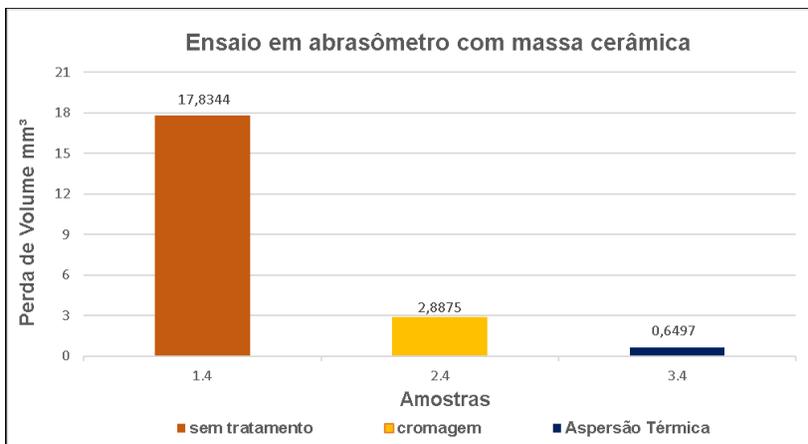


Figura 6: Gráfico de perda de volume em mm³.

Fonte: Dos autores (2019).

Como a massa cerâmica acelera o desgaste abrasivo das lastrinas, optou-se por realizar ensaio no abrasômetro substituindo a areia padrão que a norma exige, para comparar a perda de volume. Os resultados apresentaram valores diferentes comparados ao ensaio da norma ASTM G65,[2] entretanto houve proporcionalidade entre as três condições testadas. A variação em percentual de perda de volume entre o corpo de prova de cromagem e aspersão, comparados ao sem tratamento, foram: cromagem 83,81% e aspersão 96,35% menores.

4.2 Experimento na prática

Os testes em produção aconteceram em uma caixa matriz penetrante; com tratamento superficial de cromagem e posteriormente com HVOF de carboneto de tungstênio. Os resultados conforme Fig. 7 e Fig. 8, comprovam a durabilidade e durabilidade média de três caixas matriz utilizadas em produção, considerando as mesmas de bitola idênticas.

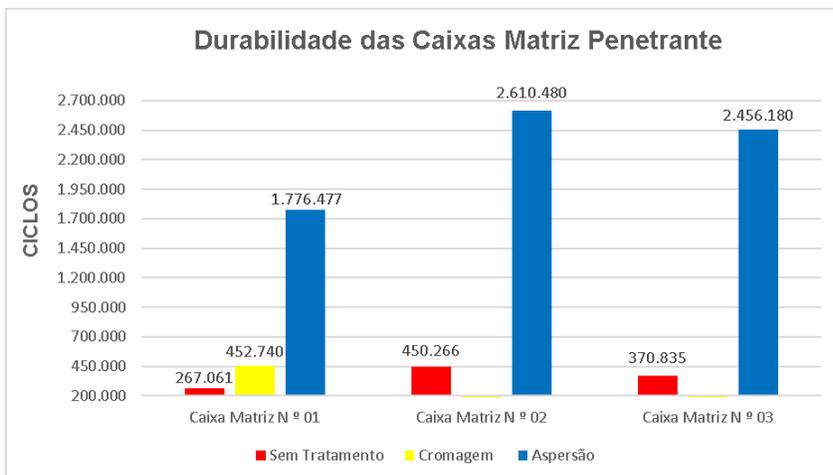


Figura 7: Gráfico de durabilidade das caixas matriz.

Fonte: Dos autores (2019).

Pode-se observar um aumento considerável da durabilidade das caixas matriz com aspersão térmica em relação as caixas sem tratamento e cromagem. O teste com cromagem ocorreu apenas na caixa matriz de número 1, devido ao resultado e baixo custo-benefício.

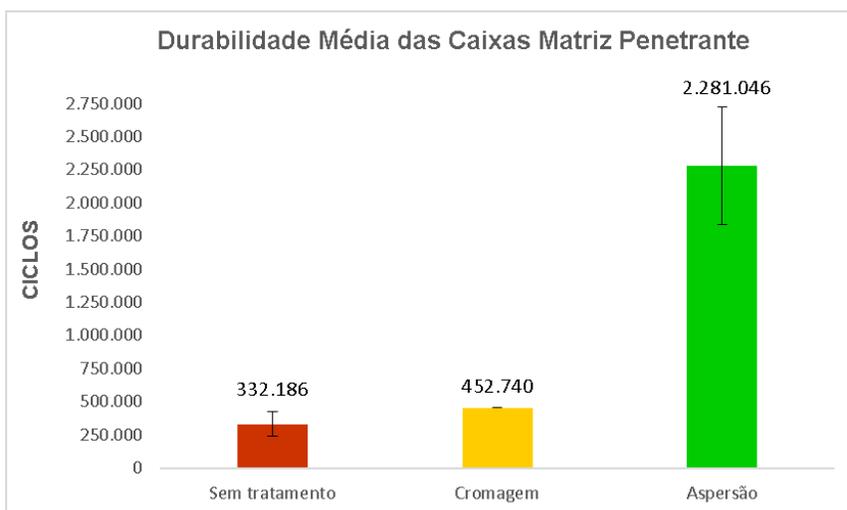


Figura 8: Gráfico de durabilidade média das caixas matriz.

Fonte: Dos autores (2019).

Considerando o desvio padrão houve uma variação de 94.261 ciclos nas caixas sem tratamento, com aspersão térmica o resultado foi de 443.728 ciclos, essa variação é devido a caixa nº 1, pontualmente danificou o revestimento com o atrito gerado pelo pino guia do punção inferior, foram realizados ajustes para evitar perdas. Assim verifica-se a vida útil de 36,29% da caixa com cromagem, logo as caixas com aspersão durabilidade média de 586,68%, ambas relacionadas com a média das caixas sem tratamento. O teste com cromagem ocorreu apenas na caixa matriz de número 1, devido ao resultado e baixo custo-benefício.

4.2.1 *Custo e benefício*

O custo para aplicação de uma caixa matriz revestida por aspersão térmica foi o dobro do valor gasto na recuperação de uma caixa matriz sem tratamento superficial. Entretanto os benefícios viabilizaram o investimento como demonstra a Tab. 1.

Benefícios	%
Aumento vida útil	586,68
Tempo de parada anual	-83,64
Gasto anual	-67,39
Ganhos no faturamento anual	0,68

Tabela 1: Benefícios.

Fonte: Dos autores (2019).

Os ganhos também foram percebidos na qualidade da produção, alguns defeitos do material causados pelo desgaste abrasivo foram eliminados após a utilização de caixas matriz com revestimento aspergido nas lastrinas.



Figura 9: Lastrina de WC-Co por HVOF.

Fonte: Dos autores (2019).

Na Fig. 9 temos a lastrina com carboneto de tungstênio com aproximadamente 1.000.000 de ciclos, sem indícios de desgaste abrasivo.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante ao exposto neste trabalho pode-se destacar a importância das pesquisas realizadas em laboratório, através dos equipamentos de ensaio de desgaste de superfície, assim como, este estudo que utilizou o abrasômetro para comparar três condições de amostras. Dessa maneira após o ensaio em roda de borracha em areia seca conforme a norma ASTM G65, verificou-se a eficiência do tratamento superficial de cromagem e aspersão térmica como possibilidades para diminuir os efeitos nocivos que os desgastes por abrasão provocam nas indústrias. Este e outros ensaios podem reduzir a perda de tempo, custos e gastos com testes práticos ineficientes nas indústrias, contribuindo com agilidade, precisão e economia. Entretanto os resultados dos testes práticos demonstraram que as lastrinas sem tratamento possuem uma vida útil média de 332.186 ciclos, com cromo duro a durabilidade atingiu 452.740 ciclos e as de aspersão térmica alcançaram os 2.281.046 ciclos, as lastrinas com revestimento aspergido por HVOF de carboneto de tungstênio demonstraram o excelente resultado com 586,68% de durabilidade média em relação as lastrinas sem tratamento, demonstrando eficiência na redução dos efeitos do desgaste abrasivo e conseqüentemente gerando benefícios como: garantia na qualidade do material prensado, aumento de confiabilidade e disponibilidade do equipamento, redução de paradas e otimização de custos. Em vista disso os revestimentos aspergidos são amplamente utilizados em diversos setores industriais, porém durante a pesquisa

deste estudo não se obteve conhecimento e registros da utilização dessa tecnologia nas lastrinas das caixas matriz nas indústrias de revestimentos cerâmicos, assim sendo, pode-se considerar como uma ideia inovadora no ramo cerâmico.

REFERÊNCIAS

[1] BIFFI, Giovanni. **O grês porcelanato**: manual de fabricação e técnicas de emprego. 3. Ed. São Paulo: Faenza, 2002. 262 p.

[2] ALBERO, J.I. Amorós. **A Operação de Prensagem: Considerações Técnicas e sua Aplicação Industrial: O Preenchimento das Cavidades do Molde. Cerâmica Industrial: A revista do técnico cerâmico brasileiro**, São Paulo, v. 5, n. 5, p.23-28, set. 2000. Trimestral. Disponível em: <<http://www.ceramicaindustrial.org.br/article/587657087f8c9d6e028b462f>>. Acesso em: 15 mar. 2019.

[3] VILLARES METALS. **Aço ferramenta para trabalho a frio**. 2019. Disponível em: <<http://www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Trabalho-a-frio/VC131>>. Acesso em: 13 mar. 2019.

[4] BRISTOT, Vilmar Menegon. **Máquinas e equipamentos para cerâmica**. Criciúma: Luana, 1996.

[5] ICON (Santa Catarina). **Estampos e moldes**. 2019. Disponível em: <<http://icon-sa.com.br/estamposemoldes/conjunto-completo.php>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

[6] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM G65-16. Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. West Conshohocken, PA, 2016.

[7] Rijeza (Rio Grande do Sul). **Revestimentos contra desgaste**. 2019. Disponível em: <<https://www.rijeza.com.br/aspersao-termica>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

[8] SILVA, W, P; BANNA, K, D, B; GARCIA, D, N;. **Design and Construction of a Rubber Wheel Abrasometer**. Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 5, p.30406-30423, may. 2020. ISSN 2525-8761

ANÁLISE QUÍMICA E ÂNGULO DE CONTATO DE FILMES FORMADOS POR BLENDAS DE POLIESTIRENO/POLI(CAPROLACTONA) FOTODEGRADADAS POR LUZ ULTRAVIOLETA

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 03/01/2021

Catarina Barbosa Levy

Universidade Luterana do Brasil
Centro Universitário Luterano de Manaus
Manaus – AM
<http://lattes.cnpq.br/8206111638985510>

Maria Oneide Silva de Moraes

Universidade Federal do Amazonas
Departamento de Química
Manaus – AM
<http://lattes.cnpq.br/7855480769072653>

Walter Ricardo Brito

Universidade Federal do Amazonas
Departamento de Química
Manaus – AM
<http://lattes.cnpq.br/0146388169116307>

João de Deus Pereira de Moraes Segundo

Universidade Estadual de Campinas
Departamento de Engenharia de Manufatura e
Materiais
Campinas – SP
<http://lattes.cnpq.br/0146388169116307>

RESUMO: Os polímeros são mundialmente fabricados para diversos segmentos tornando-se muito consumidos. A produção de blendas entre polímeros biodegradáveis e não-biodegradáveis têm sido uma alternativa para o desenvolvimento de novos materiais. Preparou-se filmes blendados de poliestireno (PS) e poli(caprolactona) (PCL)

em diferentes proporções em massa tais como 90/10, 80/20, 70/30 e 60/40 para PS/PCL, respectivamente. Os filmes foram preparado utilizando um *Spin coater* com rotação de $n = 2000$ RPM por 15 segundos. Os filmes formados por blendas foram submetidos à luz ultravioleta (UV-A/UV-B) por $t=1h$. Após a fotodegradação, os materiais foram analisados por espectroscopia infravermelho (FTIR) e medidas de ângulo de contato (AC). Os espectros de FT-IR mostraram que quanto maior for adição de PCL na blenda, mais rápida ocorrerá a fotodegradação. Os valores do AC obtidos nos filmes aumentaram após exposição à luz UV.

PALAVRAS-CHAVE: Filme fino, Blenda PS/PCL, Fotodegradação UV.

CHEMICAL ANALYSIS AND CONTACT ANGLE OF FILMS FORMED BY POLYSTYRENE / POLY (CAPROLACTONE) BLEND PHOTODEGRATED BY ULTRAVIOLET LIGHT

ABSTRACT: Polymers are manufactured worldwide for several segments, becoming very consumed. The production of blends between biodegradable and non-biodegradable polymers has been an alternative for the development of new materials. Blends of polystyrene (PS) and poly (caprolactone) (PCL) were prepared in different mass proportions such as 90/10, 80/20, 70/30, and 60/40 for PS / PCL, respectively. The films were prepared using a spin coater with the rotation of $n = 2000$ RPM for 15 seconds. The films formed by blends were submitted to

ultraviolet light (UV-A / UV-B) for $t = 1$ h. After photodegradation, the materials were analyzed by infrared spectroscopy (FTIR) and contact angle (AC) measurements. FT-IR spectra have shown that the higher the addition of PCL to the blend, the faster the photodegradation will occur. The AC values obtained in the films increased after exposure to UV light.

KEYWORDS: Fine Film, PS/PCL Blend, UV Photodegradation.

1 | INTRODUÇÃO

Blendas poliméricas são misturas físicas entre dois ou mais polímeros com diferentes características, pois pode-se aumentar ou diminuir suas características físicas ou químicas. Pesquisas sobre blendas em forma de filmes estão sendo desenvolvidas para modificação do material, visando melhoria das propriedades e também para que estes materiais poliméricos venham a ser degradados com mais facilidade (WEIBECK & HARADA, 2005; LUNA et al., 2015).

Existem outros polímeros que são resistentes à degradação, entretanto, o poliestireno (PS) é um dos termoplásticos mais fabricados e consumidos em indústrias alimentícias, fármacos, têxteis e muito utilizado em estruturas de brinquedos (GEYER, JAMBECK & LAW, 2017).

A poli(ϵ -caprolactona) PCL é um polímero biodegradável, semicristalino, do grupo dos poliésteres alifáticos, é biocompatível e muito utilizado para implantes, sacos plásticos biodegradáveis, além disso, utilizado como aditivo para melhorar a degradação e as propriedades do material a ser misturado (FECHINE, 2013).

O objetivo deste trabalho foi preparar filmes blendados de PS/PCL em diferentes proporções e analisar quimicamente e por ângulo de contato a fotodegradação dos filmes sob a aplicação de luz UV-A.

2 | EXPERIMENTAL

Foram utilizados poli(caprolactona) (PCL- 80.000 g/mol) fornecido pela Sigma Aldrich; poliestireno (PS – 10.000 g/mol) fornecido pela empresa Piramidal; acetato de etila (AE – P.M. 88,11) fornecido pela Anidrol; brometo de potássio (KBr – P.M.119,00) fornecido pela CRQ Produtos Químicos Eireli. Água deionizada (condutividade elétrica de $0,5 \mu\text{S}/\text{cm}^2$).

As soluções poliméricas de PS e PCL foram preparadas, separadamente, adicionando 0,250g dos polímeros em 2,5 mL de acetato de etila (AE). As soluções blendadas de PS/PCL foram preparadas da seguinte maneira: primeiramente foram adicionados os polímeros (PS e PCL) em um frasco contendo AE, em seguida a mistura foi submetida à agitação mecânica por 7 hr. As proporções em massa foram de 90/10, 80/20, 70/30 e 60/40 para PS/PCL, respectivamente.

Os filmes foram preparados sobre substratos de vidro limpos (30 x 30 mm) utilizando

um Spin Coater (SPIN COATER, VTC-50A). Com o auxílio de uma micropipeta, depositou-se 500 μL da solução sobre o substrato à temperatura ambiente, a rotação foi de 2000 rpm por 15 segundos. Os ensaios de fotodegradação foram realizados em uma câmara UV composta por 4 lâmpadas de 9w cada com comprimento de onda de 365 nm. A distância de exposição da luz UV sobre os filmes foi de $d = 6 \text{ cm}$ e os tempos de exposição foi $t = 0,5\text{h}$ e $t=1 \text{ h}$.

Os espectros de absorção no IV foram obtidos em um espectrofotômetro Infravermelho com Transformada de Fourier da Thermo Electron (modelo Nicoleti iS10) usando pastilhas de KBr com 32 varreduras na faixa de 4000 à 400 cm^{-1} e resolução de 4 cm^{-1} .

O estudo da molhabilidade foi realizado mediante às medidas de ângulo de contato. Depositou-se uma gota de água deionizada de 10 μL sobre a superfície dos filmes blendados antes e após a exposição à luz UV, então o comportamento da gota de água foi observado por 120 segundos à temperatura ambiente utilizando um microscópio digital (DINO – lite plus). As medidas do ângulo de contato foram obtidas com o auxílio do software ImageJ (versão gratuita).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 mostra os espectros de absorção IV do filme de PS e do filme de PCL sem e após exposição à luz UV-A por 1h. Na Figura 1.a foi observado as principais as bandas vibracionais do PS em 3058 cm^{-1} atribuído ao estiramento C–H aromático, em 2920 cm^{-1} atribuído ao estiramento C–H da cadeia polimérica e em 1493, 1452 e 755 cm^{-1} atribuídos ao estiramento do anel benzênico (BETANCOURT-GALINDO et al., 2012; HERMÁN et al., 2015).

A comparação entre os espectros de PS sem e com exposição à luz UV-A não indicou mudanças significativas após a exposição à luz UV-A por 1h. Somente uma leve diminuição na intensidade das principais bandas vibracionais. Na região *fingerprint* de 1367 – 827 cm^{-1} atribuída as grupos alifáticos foi observado um aumento de intensidade após a exposição a luz UV-A sugerindo que ocorreu rupturas de cadeias carbônicas.

Os espectros de absorção IV do filme de PCL são apresentados na Figura 1.b. O espectro do PCL sem exposição à luz UV-A apresentou bandas vibracionais típicas de acordo com a literatura (GEORGOPOULOU et al., 2018). As principais bandas vibracionais estão presentes em 2939 cm^{-1} atribuída à deformação axial de grupos C-H, em 1725 cm^{-1} atribuída a presença de C=O, em 1472 cm^{-1} atribuída à deformação angular C-H, e em 1238 atribuída a ligação C-O-C. Após a exposição do filme de PCL à radiação UV-A por 1h foi observado uma diminuição na intensidade das bandas vibracionais quando comparado ao filme de PCL não exposto indicando degradação superficial do polímero.

As blendas de PS/PCL em diferentes proporções de m/m foram expostas à radiação

UV-A durante 1h na presença de ar ambiente. A Figura 2 apresenta o comparativo entre os espectros de absorção IV para as blendas em diferentes razão m/m. Pode-se observar que há uma relação entre a fotodegradação e a presença de PCL uma vez que a diferença entre as intensidades da banda vibracional em 1725 cm⁻¹ (-C=O) aumenta com o acréscimo de massa do PCL na composição da blenda. Portanto, os resultados sugerem que a presença do PCL favorece a fotodegradação da blenda.

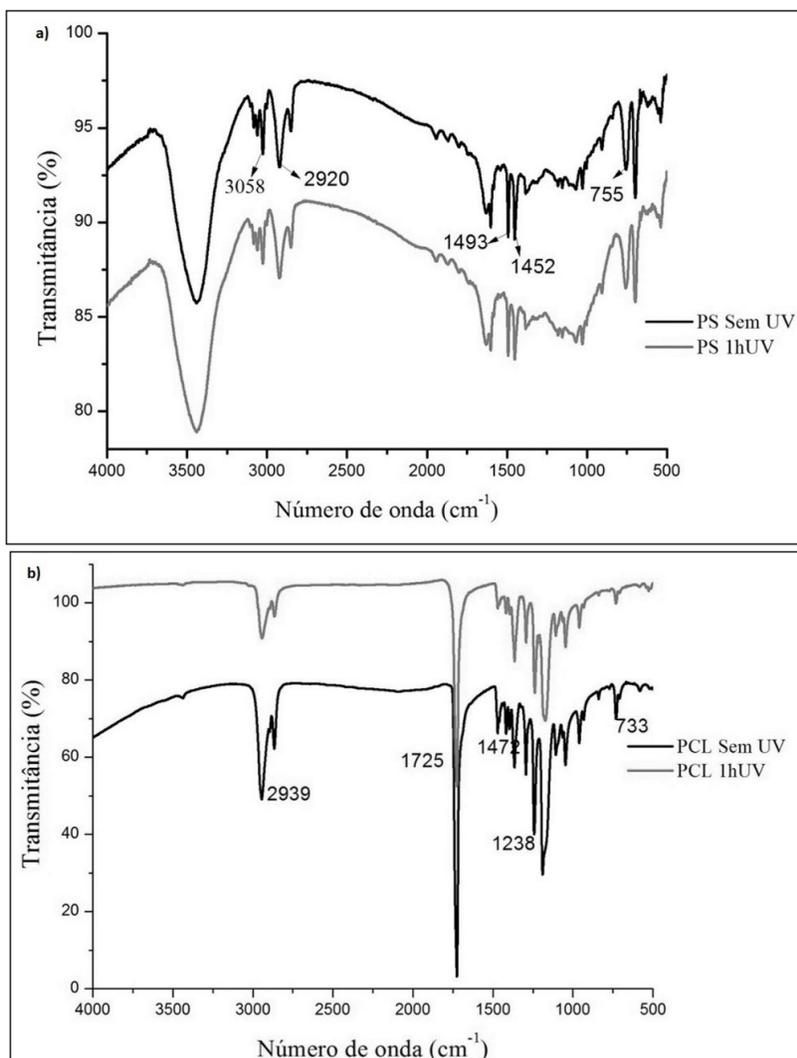


Figura 1- Espectros de absorção IV de (a) filmes de PS e de (b) filmes de PCL sem exposição a luz UV-A e após a exposição à luz UV-A por 1h.

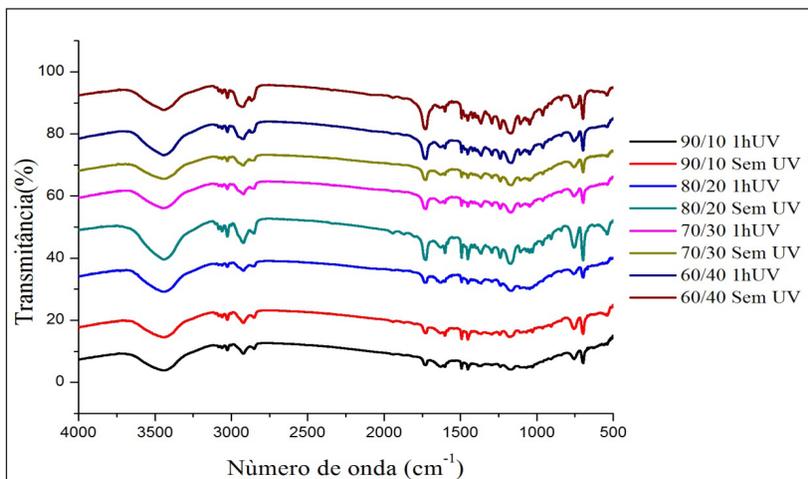


Figura 2 - Espectros de absorção IV das blendas PS/PCL em diferentes proporções sem exposição a luz UV-A e após a exposição à luz UV-A.

Quando ângulo for menor que 90° o material apresenta propriedades parcialmente hidrofílicas, e quando maior que 90° o material é hidrofóbico (SANTOS, 2005). Nas amostras que não foram expostas a luz UV, notou-se que com o aumento da concentração da PCL na blenda, o ângulo de contato diminuiu, assim, ocasionou-se maior interação molecular na superfície dos filmes.

O contrário foi observado no PS, onde se notou que quanto maior a adição do polímero, maior o ângulo da gota em contato com a superfície. Após os filmes serem expostos, observou-se que conforme o tempo passava os filmes perdiam a interação molecular. Este efeito pode ser observado com o aumento do ângulo de contato nos filmes como mostra a Tabela 1.

Proporção	Tempo de exposição UV	
	0h	1h
90/10	83,2°	85,31°
80/20	72,4°	82,37°
70/30	71,97°	76,46°
60/40	69,56°	76,85°

PCL	66,37°	68,05°
PS	87,93°	89,35°

Tabela 1 – Ângulo de contato com a superfície por tempo de exposição.

4 | CONCLUSÃO

A análise química dos filmes de PS, PCL e das blendas corroboram a fotodegradação, pois a redução nas bandas características de seus respectivos polímeros evidenciou uma maior diferença nas blendas que possuíam maior concentração, por exemplo, na blenda de 60/40 wt% houve redução nos espectros dos grupos hidrogenados. Através do teste de ângulo de contato e molhabilidade, pode perceber-se que com a fotodegradação das blendas e do polímero puro, o PS possui um ângulo maior que o do PCL. Quanto maior for a concentração de PS, menor o contato da gota de água com a superfície do filme. Percebe-se, ainda, que quanto maior for a concentração de PCL, maior a interação molecular com a superfície do filme.

AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos são para Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), Centro Universitário Luterano de Manaus (CEULM/ULBRA) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

BETANCOURT-GALINDO, R. CABRERA MIRANDA, C. PUENTE URBINA, B. A. **Encapsulation of Silver Nanoparticles in a Polystyrene Matrix by Miniemulsion Polymerization and Its Antimicrobial Activity**. ISRN Nanotechnology, vol. 2012, 2012.

FECHINE, G. J. M. **Polímeros Biodegradáveis: Tipos, Mecanismos, Normas e Mercado Mundial**. São Paulo: Editora Mackenzie, 2013.

GEORGOPOULOU, A., KALIVA, M., VAMVAKAKI, M., CHATZINIKOLAIDOU, M. **Osteogenic Potential of Pre-Osteoblastic Cells on a Chitosan-graft-Polycaprolactone Copolymer**. Materials, 11, 490, 2018.

GEYER, R., JAMBECK, J. R., LAW, K. L. **Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made**. [S.L.]: Science Advances, 2017.

HERMÁN, V. TAKACS, H. DUCLAIROIR, F. RENAULT, O. TORTAI, J. VIALA, B. **Core double-shell cobalt/graphene/polystyrene magnetic nanocomposites synthesized by in situ sonochemical polymerization**. RSC Adv., 5, 51371-51381, 2015.

LUNA C. B. B., SILVA D. F., BASÍLIO S. K. T., ARAÚJO E.M., SILVA A. L., BEZERRA A. F. C.
Desenvolvimento de Blendas Poliméricas Visando a Tenacificações Polímeros: Uma Revisão.
Londrina: Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, 2015.

SANTOS, S. F. **Análise de Filmes Poliméricos Densos de Acc/Phamcl por Técnicas de DSC, DMA, XPS, Ângulo de Contato e AFM.** Rio De Janeiro: Puc, 2005.

WIEBECK, H., HARADA J. **Plásticos de Engenharia I.** São Paulo: Artliber Editora. 2005.

APLICAÇÃO DE NANOBOMATERIAIS NO TRATAMENTO DE FERIDAS

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 02/11/2020

Rayanne Cornelio Silva Carvalho

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do
Piauí (IFPI)
Teresina- PI
<http://lattes.cnpq.br/9533761155229765>

Deuzuita dos Santos Freitas Viana

Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)
Teresina- PI
<http://lattes.cnpq.br/9427609782986371>

Vicente Galber Freitas Viana

Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do
Piauí (IFPI)
Teresina- PI
<http://lattes.cnpq.br/9207482089741014>

RESUMO: Os nanobiomateriais estão em ascensão pois é um campo científico multidisciplinar que tem avançado rapidamente nos últimos anos. Há um grande interesse no ramo da medicina regenerativa em materiais nanoestruturados para atingir as funcionalidades do sistema biológico, por isso diversos nanomateriais estão sendo desenvolvidos. Os avanços na nanotecnologia estão permitindo a nanofabricação de biomateriais em nanoescala e dispositivos nanosensores que deverão facilitar significativamente as terapias médicas personalizadas por meio de procedimentos minimamente invasivos. Portanto, este estudo objetiva, analisar o uso de nanobiomateriais

na cicatrização de feridas e identificar quais os métodos mais utilizados no ramo da medicina regenerativa com os nanobiomateriais a partir de uma revisão de literatura nas bases CAPES Periódicos, PubMed, Scielo, LILACS e Science Direct. Como critérios de inclusão, foram considerados estudos observacionais e experimentais disponíveis na íntegra e que traziam informações sobre os benefícios das nanopartículas no tratamento de feridas e injúrias da pele. Como critérios de exclusão, foram desconsiderados os artigos que fugiram do objetivo principal do estudo bibliográfico e os que estavam fora da linha do tempo atribuída para a pesquisa. A amostra foi composta por 11 artigos. Sendo seis artigos do tipo de pesquisa de revisão e cinco do tipo de pesquisa de experimentação. Com base nos artigos analisados, pode-se afirmar que os avanços na nanotecnologia estão permitindo a nanofabricação de biomateriais em nanoescala e dispositivos nanosensores que deverão facilitar significativamente as terapias médicas personalizadas por meio de procedimentos minimamente invasivos os curativos contendo nanobiomateriais são bastante promissores e são classificados como uma ótima opção terapêutica na cicatrização de feridas.

PALAVRAS - CHAVE: Nanobiomateriais; cicatrização de feridas; medicina regenerativa.

APPLICATION OF NANOBOMATERIAIS IN THE TREATMENT OF WOUND

ABSTRACT: The nanobiomaterials are on the rise, since it is a multidisciplinary scientific field

that has advanced rapidly over the last few years. There is a great interest in the field of regenerative medicine in nanostructured materials to achieve the functionalities of the biological system, which is why several nanomaterials are being developed. The advances in nanotechnology are allowing the nanofabrication of biomaterials on a nanoscale and nanosensing devices that should significantly facilitate personalized medical therapies by means of minimally invasive procedures. Therefore, this study aims to analyze the use of nanobiomaterials in wound healing and to identify the methods most used in the field of regenerative medicine with nanobiomaterials from a review of the literature in the Periodic CAPES bases, PubMed, Scielo, LILACS and Science Direct. As inclusion criteria, observational and experimental studies were considered to be fully available and to provide information on the benefits of nanoparticles in the treatment of skin wounds and injury. As exclusion criteria, the articles that escaped from the main objective of the bibliographical study and those that were outside the line of time allocated to the research were disregarded. The sample consisted of 11 articles. With six articles of revision research type and five of the type of experimentation research. Based on the articles analyzed, it can be stated that advances in nanotechnology are making it possible to nanofabrade biomaterials on a nanoscale and nanosensing devices that should significantly facilitate personalized medical therapies by means of minimally invasive procedures, the nanobiomaterials containing nanobiomaterials are very promising and are classified as an excellent therapeutic option in wound healing.

KEYWORDS: Nanobiomaterials; wound healing; regenerative medicine.

1 | INTRODUÇÃO

A nanotecnologia é um campo científico multidisciplinar que tem avançado rapidamente nos últimos anos, encontrando aplicações em diversas áreas. O principal interesse reside na possível exploração de novos efeitos que ocorrem em escala nanométrica, notadamente pela explícita manifestação de efeitos quânticos e pelo aumento da contribuição relativa dos átomos da superfície (PIMENTA e MELO, 2004).

Na medicina regenerativa há um interesse em materiais nanoestruturados para atingir as funcionalidades do sistema biológico (ROSSI- BERGMANN, 2008). Diversos nanomateriais estão sendo desenvolvidos, modificados e expandidos sua atuação direta é na manutenção dos tecidos vivos carreadores das células, investigando e produzindo mediadores biológicos (MACIEL, 2010).

Os avanços na nanotecnologia estão permitindo a nanofabricação de biomateriais em nanoescala e dispositivos nanosensores que deverão facilitar significativamente as terapias médicas personalizadas por meio de procedimentos minimamente invasivos. Portanto, apresentam constituição bioativa, pois englobam fatores coercivos de adesão, no funcionamento de sítios polianiônicos similares aos de polissacarídeos regulatórios ou sítios para o favorecimento da clivagem enzimática envolvidos na migração celular (PIRES et al., 2015). O uso de partículas nanométricas é viável visando o melhoramento do composto (CODEVILLA, 2015), favorecendo, portanto, sua biocompatibilidade e bioatividade.

As propriedades físico-químicas únicas dos nanobiomateriais, juntamente com

a capacidade de inibir o crescimento microbiano e incentivar a proliferação de células eficazes no processo cicatricial, levaram ao aumento de pesquisas relacionadas na síntese e aplicação de nanobiomateriais no tratamento de feridas. Portanto, os objetivos deste trabalho é analisar o uso de nanobiomateriais na cicatrização de feridas e identificar quais os métodos mais utilizados no ramo da medicina regenerativa com os nanobiomateriais.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Nanomateriais

A nanotecnologia é um campo científico multidisciplinar que tem avançado rapidamente nos últimos anos. Sua principal peculiaridade está no tamanho envolvido das partículas. Nano (do grego: “anão”) é um prefixo usado nas ciências para designar uma parte em um bilhão e, assim, um nanômetro (1nm) corresponde a um bilionésimo de um metro (PIMENTA e MELO, 2004). Portanto, são materiais com unidades estruturais básicas como: grãos, partículas, fibras ou outros componentes menores que 100nm em pelo menos uma dimensão.

Houve um grande desenvolvimento envolvendo as nanociências e as nanotecnologias, áreas as quais demonstraram ter uma aplicabilidade no setor de desenvolvimento científico e tecnológico, pelo enorme potencial de impacto econômico (PIMENTA e MELO, 2004). Por isso, os estudos com nanomateriais provoca um incentivo e uma atenção especial para o desenvolvimento de tecnológicas eficazes em diversos ramos de pesquisa (SIQUEIRA, 2016).

O principal interesse reside na possível exploração de novos efeitos que ocorrem em escala nanométrica, notadamente pela explícita manifestação de efeitos quânticos e pelo aumento da contribuição relativa dos átomos da superfície desses materiais (PIMENTA e MELO, 2004). O nanomaterial é um material com qualquer dimensão externa em nanoescala ou com estrutura interna ou estrutura de superfície à escala nanométrica (TIELAS et al., 2014), o qual poderá apresentar características novas em comparação com o mesmo material sem características de nanoescala.

2.2 Nanobiomateriais no tratamento de feridas

As nanopartículas possuem notoriedade por suas metodologias variadas e mecanismos de sínteses e caracterização, outra viabilidade é pelo fato de conter uma oportuna área superficial, Paiva (2012) sugere que, tal fator interfere diretamente nas suas propriedades físico- químicas, ópticas, elétricas e magnéticas, possibilitando a aplicação de catálise, armazenamento de informação e classificação biológica. A nanomedicina surgiu como uma nova ferramenta para alavancar os avanços das aplicações de nanomateriais na medicina tradicional. Isso levou inúmeras aplicações de nanobiomateriais para diagnóstico e tratamento (CANCINO et al., 2014)

As nanotecnologias têm encontrado muitas aplicações na medicina no que concerne à engenharia de tecidos, diagnósticos ultra- sensíveis e medicamentos mais eficazes e seguros (CANCINO et al., 2014). Assim, o termo nanomedicina regenerativa descreve a incorporação de genes, proteínas e / ou células dentro de nanobiomateriais para regenerar tecidos ou órgãos humanos doentes ou danificados (KOUTSOPOULOS, 2012). Considerando as perspectivas da nanotecnologia na terapia cicatricial, as quais contribuem significativamente na liberação do medicamento, melhorando assim o tratamento.

Os biomateriais, segundo Junior et al., (2015) têm se tornado elementos indispensáveis para a melhoria da saúde humana e qualidade de vida, tanto para tratamentos terapêuticos quanto no ramo da medicina regenerativa emergente. A pele é o maior tecido do corpo humano, sua vulnerabilidade quanto a sofrer injúrias é alta, desse modo pode- se aferir que os fatores relacionados ao processo de cicatrização afeta a saúde pública, devido sua complexidade e por envolver diretamente a situação do organismo do indivíduo que sofreu a lesão.

No término da cicatrização as células danificadas já não existem sobre a pele, pois os macrófagos irão desaparecer com a multiplicação dos fibroblastos até a densidade normal ser reestabelecida, todas as alterações na nova pele serão ocasionadas pelo aparecimento de novos miofibroblastos, células as quais sintetizarão elementos estruturais da nova remodelagem (STRONCEK et al., 2009). A possibilidade de incorporação de vários tipos de moléculas na superfície de uma única nanopartícula permite adição de propriedades adicionais ao nanomaterial (CANCINO et al., 2014).

É notório o quanto as pesquisas sobre tratamentos naturais e sintéticos estão se expandindo, vários métodos e estratégias estão sendo avaliadas, dentre muitos fatores é importante salientar a eficácia de atuar como barreira contra patógenos do meio exterior, ser atóxico, promover o bom funcionamento das biomembranas presentes no tecido lesado (WIEGAND e HIPLER, 2010), ter fácil manipulação e um viável custo benefício.

Assim, torna- se importante o estudo sobre metodologias eficazes que venham promover uma cicatrização mais significativa e que não comprometam o funcionamento das biomoléculas presentes no tecido conjuntivo. Stronck, (2009) defendem que o tratamento deve ser reavaliado e readequado as características próprias da úlcera e na resposta do organismo ao procedimento.

3 | METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão integrativa de bibliográfica com coleta de dados realizada mediante análise de pesquisas publicadas de 2017 a 2020, no idioma inglês, aplicados à pesquisa das bases de dados CAPES Periódicos, PubMed, Scielo, LILACS e Science Direct. Como critérios de inclusão, foram considerados estudos observacionais e experimentais disponíveis na íntegra e que traziam informações sobre os benefícios das nanopartículas

no tratamento de feridas e injúrias da pele, também foi considerado o fator de impacto da revista o qual o artigo experimental foi indexado de 3,0 à 14,3. Como critérios de exclusão, foram desconsiderados os artigos que fugiram do objetivo principal do estudo bibliográfico e os que estavam fora da linha do tempo atribuída para a pesquisa.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram encontrados 25 potenciais pesquisas a partir da estratégia de busca, os quais abordavam o uso de nanobiomateriais no processo cicatricial, sendo que a base de dados Science Direct obteve o maior percentual de pesquisas. Através dos métodos de exclusão restaram 5 artigos experimentais e 6 artigos de revisão bibliográfica. A análise dos dados foi mediante a leitura integral dos artigos, síntese do conteúdo e identificação das peculiaridades entre eles sob o tema central da referida pesquisa.

Dentre os destaques nos artigos de revisão notaram-se em todas pesquisas sobre a eficácia de reação do nanobiomaterial no organismo humano no tratamento de feridas. A nanotecnologia segundo Kumar, (2018), atua diretamente em curativos para aplicações de cicatrização de feridas, fatores tais como tamanho de poro, índice de inchaço, biocompatibilidade, biodegradação e resistência mecânica do material, reagem de maneira significativa no organismo. A pesquisa enfatiza que a porosidade e razão de dilatação ajudam o material a liberar a droga encapsulada no local da ferida por difusão. Avaliando a biocompatibilidade e biodegradabilidade em condições fisiológicas e pode ser considerada como um antibacteriano eficaz, então o nanobiomaterial incorporado no curativo apresenta características favoráveis para agir em diferentes tipos de feridas.

Assim, baseado no desenvolvimento de novos produtos, Vijayakumar et al., (2019), aborda uma variedade de materiais usados para o tratamento de cicatrização de feridas, a reação mais acentuada das nanoestruturas proporciona ao biomaterial relevantes reações ao organismo humano melhorando sua eficácia terapêutica, os nanobiomateriais auxiliam na diferenciação de fibroblastos em miofibroblastos que, por sua vez, promove efetivamente a contratilidade da ferida e acelera a taxa de cicatrização da ferida diabética. Ainda nesta vertente, Florea (2019), expõe sobre a bioatividade do material e define a especificidade da reação em contato com o organismo humano, aborda aplicações e avaliação da interface entre o tecido humano e a biomembrana. O uso de biomateriais na área biomédica representa uma excelente alternativa em tratamento convencionais.

Com a demanda constante das nanotecnologias, é importante integrar diretamente no papel primordial da nanotecnologia na engenharia de tecidos e seus avanços nos estudos da medicina regenerativa visando o uso de nanobiomateriais com uma capacidade regenerativa superior (HUDITA, et al., 2019). Assim as NPs são portadoras de princípio ativo de reação na biomembrana ou atua como carreadores de moléculas biológicas que podem facilitar a adesão celular, proliferação dentre outros fatores no sistema biológico.

Sobre os avanços da engenharia de tecidos, no ramo da medicina regenerativa e biologia celular GOONOO e BHAW-LUXIMON (2020) aborda estratégias de combinação de nanomateriais para melhorar a performance do nanobiomaterial. Sua principal abordagem enfatiza a nanotecnologia na estruturação dos biomateriais com potencial regenerativo. A partir das abordagens dos autores nos artigos de revisão notou-se a crescente atuação dos nanobiomateriais no ramo da medicina regenerativa e sua contribuição para a sociedade. O quadro 1 apresenta a síntese dos estudos contendo seus principais resultados.

REF.	TIPO DE PESQUISA	TÍTULO	OBJETIVO	RESULTADOS PRINCIPAIS	PERSPECTIVAS FUTURAS
BERTHET et al., 2017	Artigo de Revisão	Nanoparticle-Based Dressing: The Future of Wound Treatment?	Analisar as reações das nanopartículas como carregadores de drogas atuando como ferramentas promissoras em tratamentos de cicatrização de feridas, e suas propriedades multifuncionais	Nanopartículas (NPs) carregadas com substâncias ativas são ferramentas promissoras para curativos inovadores no sistema tegumentar para a regeneração da pele representando uma estratégia para o reparo de feridas.	Fazer uma prospecção com as nanopartículas sobre os benefícios trazidos pelo carregamento de drogas em curativos nanoparticulados e sua eficiência no mercado para substituir os curativos atuais para a cicatrização de feridas.
KUMAR et al., 2018	Artigo de Revisão	Recent advances on silver nanoparticle and biopolymer based biomaterials for wound healing applications	Discutir as atualizações sobre as vantagens das Nanopartículas de Prata incorporadas em nanobiomateriais (AgNP-BMs) e analisou suas várias aplicações em estudos de	Notou-se que o desenvolvimento de novos materiais biocompósitos impregnados com AgNPs visa alcançar melhores estratégias de tratamento na cicatrização de feridas com atividade antimicrobiana eficaz.	Fazer uma prospecção sobre as nanopartículas envolvendo outros metais em curativos nanoparticulados e sua eficiência para a cicatrização de feridas.
VIJAYAKUMAR, V. et al., 2019	Artigo de Revisão	Recent Advancements in Biopolymer and Metal Nanoparticle-Based Materials in Diabetic Wound Healing Management	Sintetizar a potencialidades nanobiopolímeros, biometal e nanopartículas de óxido de metal, e também compósito do biopolímero no tratamento de úlceras de pé diabético com infecção.	A utilização de nanobiopolímeros com combinação de nanopartículas bioativas demonstrou propriedades antimicrobianas, antibacterianas e antiinflamatórias e forte potencial no tratamento de feridas para melhorar o processo de cicatrização de feridas infecciosas diabéticas.	Não há ressalvas para trabalho futuros
FLOREA, D. A. et al., 2019	Artigo de Revisão	Clinical applications of bioactive materials	Analisar a eficiência das aplicações clínicas de materiais bioativos	Notou-se que os projetos e aplicações ainda são um desafio pois seus estudos são complexos por envolverem reações química e biológicas no organismo.	Estudos clínicos e o projeto de fabricação visando um custo benefício mais atrativo.

HUDITA, A. et al., 2019	Artigo de Revisão	Nanobiomaterials for tissue engineering	Analisar formas de atuação da nanotecnologia no projeto de membranas nanobiocompatíveis, no controle e comportamento da célula.	Discutiu-se que os scaffolds nanoparticulados atuam como carreadores de moléculas biologicamente ativas, no processo de regeneração tecidual.	Incentivou-se estudos na área de nanobiomateriais para regeneração tecidual, pois são promissores na aplicação de engenharia tecidual.
GOONOO, N. BHAW-LUXIMON, A. 2020	Artigo de Revisão	Nanomaterials combination for wound healing and skin regeneration	Investigou-se um substituto polimérico capaz de exibir todas as propriedades da pele.	Análises mais precisas para evitar erros reacionais no organismo. A combinação de métodos de fabricação, e análises precisa dos materiais, tem o resultado mais propício para reduzir infecções.	A combinação de biomateriais e nanopartículas metálicas implementarão novas técnicas de fabricação de membranas a fim de favorecer a regeneração, estratégias adicionais, como o desenvolvimento de scaffolds responsivos.
TAMER, T. M. et al., 2018	Experimental	MitoQ Loaded Chitosan-Hyaluronan Composite Membranes for Wound Healing	Discerne sobre a influência do MitoQ no processo de cicatrização em modelos de coelho e rato. Analisa a determinação da influência da incorporação de MitoQ nas propriedades físico-químicas das membranas.	Concluiu-se pelas demonstrações em pele lesada de coelho e rato, que as nanobiomembranas foram notavelmente eficientes e aceleraram o processo de cicatrização principalmente por meio de um mecanismo de supressão da inflamação	Para pesquisas futuras com potencial do uso de MitoQ - uma substância MTA - para o tratamento de feridas no tecido da pele, para análises em humanos.
PAUL, M. et al., 2018	Experimental	Pongamia pinnata seed extract-mediated green synthesis of silver nanoparticles: Preparation, formulation and evaluation of bactericidal and wound healing potential	Sintetizar as Nanoparticulas de Prata através da síntese verde e caracterizá-las quanto ao potencial antibacteriano, além disso fazer a testagem do nanobiomaterial em um gel hidrofílico investigando o potencial cicatrizante.	O nanobiomaterial apresentou potencial antioxidante máximo em comparação ao ácido ascórbico. O gel carregado com AgNp mostrou-se homogêneo, mostrando ação notável na recuperação de lesões devido o seu potencial antigênico e mitogênico.	Análises para verificação em curativos.
LI, X. et al., 2019	Experimental	Development of an antibacterial nanobiomaterial for wound-care based on the absorption of AgNPs on the eggshell membrane.	Preparar um nanocompósito antiaglomerante e antibacteriano e avaliar a capacidade de cicatrização e antibacteriana dos compósitos AgNPs / ESM com várias concentrações de prata.	A atividade antibacteriana foram significativamente melhoradas quando o referido composto foi preparado em soluções de AgNPs. Os bionanocompósitos também tinham uma área de superfície e tamanhos de poros adequados, o que conferia aos compósitos a capacidade de prevenir a invasão bacteriana.	Devido às suas fortes propriedades antibacterianas e físicas, os compósitos AgNPs / ESM preparados neste estudo têm um grande potencial para serem usados como um forte agente antibacteriano para embalagens de preservação de alimentos, produtos de consumo, terapêutica clínica e diagnósticos.

ENUMO, A. et al., 2020	Experimental	Development of curcumin-loaded chitosan/pluronic membranes for wound healing applications	Aplicação e desenvolvimento de membranas à base de plurônico- quitosana contendo curcumina com aplicações potenciais na cicatrização de feridas.	As membranas apresentaram características desejáveis para uma potencial aplicação no tratamento de lesões cutâneas, uma vez que apresentaram melhora nas propriedades térmicas, mecânicas e de superfície, bem como aumento na capacidade de inchamento. Os resultados mostraram que a estrutura cristalina de PLU e CUR é afetada pela formação da membrana.	Em geral, as membranas contendo os nanobiomateriais, podem desempenhar um papel eficaz na cicatrização de feridas, e estudos in vivo devem ser realizados para confirmar esses benefícios.
ESMAEILI, E. et al., 2020	Experimental	The biomedical potential of cellulose acetate/ polyurethane nanofibrous mats containing reduced graphene oxide/silver nanocomposites and curcumin: Antimicrobial performance and cutaneous wound healing	Preparação e avaliação de biomaterial nanofibrosos por eletrofição de PU e CA dos nanocompósitos rGO / Ag, curcumina ou ambos avaliados nas propriedades químicas, físicas e biológicas das membranas	A atividade antibacteriana de foi atribuído ao efeito sinérgico de rGO / Ag e curcumina, e a maior atividade antibacteriana. As amostras contendo nanocompósitos rGO / Ag inibiu o crescimento da bactéria através da difusão dos íons Ag. O nanobiomaterial contendo uma área de superfície, serviu como um suporte para a aderência de bactérias.	Não há ressalvas para trabalhos futuros.

Quadro 1- Síntese das pesquisas analisadas contendo referência, tipo de pesquisa, título, objetivo, principais resultados e perspectivas futuras - Teresina, PI, Brasil, 2020.

Fonte: KUMAR, S. S. D. et al., (2018); VIJAYAKUMAR, V. et al., (2019); FLOREA et al., (2019); HUDITA, A. et al., (2019); GOONOO e BHAW-LUXIMON, (2020); TAMER, T. M. et al.,(2018); PAUL, M. et al.,(2018); LI, X. et al.,(2019); ENUMO, A. et al.,(2020); ESMAEILI, E. et al.,(2020).

Dentre os artigos analisadas, cinco são do tipo de pesquisa experimental. Sendo dois de análise in vivo e três com o tipo análise in vitro. Os nanobiomateriais estimulam a atividade das células do organismo devido suas propriedades biológicas. TAMER, T. M. et al., 2018, analisou a incorporação de um antioxidante na matriz biopolimérica e sua reação no organismo no tratamento de feridas na pele. Desse modo, três componentes foram avaliadas em detalhes utilizando medições de rugosidade de superfície, medições de ângulo de contato, hemocompatibilidade e análises de trombogenicidade. a aplicação in vivo de membranas Ch / HA / MitoQ (Quitosana, Ácido Hialurônico e MitoQ) foi avaliada em pele de coelho e rato feridos utilizando métodos histológicos. Modelo de estudo clinico randomizado, 9 coelhos machos e 15 ratos. A recuperação do tecido foi claramente observada com membranas Ch/ HA/ MitoQ em todos os intervalos de tempo. O controle positivo (Ch / HA) apresentou cicatrização significativa em relação ao controle negativo (gaze). O grupo controle apresentou um número significativamente maior de células

inflamatórias do que aquele tratado com membranas de qualquer tipo, ou seja, com ou sem MitoQ. A cicatrização eficiente foi verificada pela presença de folículos capilares e tecidos fibrosos amadurecidos para membranas contendo MitoQ.

No ramo da medicina regenerativa, curativos à base de nanopartículas de prata (NPsA) estão ganhando popularidade a cada dia devido seu forte potencial antimicrobiano. Paul, et al., (2018), preparou as NPs pela síntese verde e incorporou em um gel hidrofílico, afim de determinar seu potencial antimicrobiano e antioxidante e a atividade de cicatrização de feridas. A atividade de cicatrização foi investigada usando um modelo de cicatrização por excisão em ratos. O gel carregado foi aplicado topicamente nos ratos diariamente por 30 dias. A contração da ferida foi calculada e foram realizados estudos histopatológicos dos tecidos cicatrizados. Visando a velocidade de cicatrização e em uma melhor aparência estética das feridas. O nanobiomaterial apresentou um potencial antioxidante e foi eficiente na atividade antibacteriana. A atividade significativa de cicatrização de feridas ($p < 0,05$) foi demonstrada pelo gel AgNP em comparação com outra substancia já utilizada comercialmente em injúrias da pele (PAUL et al., 2018). Assim os AgNPs preparados têm efeitos antimicrobianos e de cicatrização de feridas que podem ser uteis no tratamento de infecções tópicas, especialmente feridas.

Notou-se que as AgNPs aceleram a taxa de cicatrização de feridas, estimulando a proliferação e realocação de queratinócitos. Diante disso, LI, X. et al., 2019 desenvolveu um agente antibacteriano promissor para curativos de feridas, trata-se da incorporação de nanopartículas de prata (AgNPs) em biocompósitos de membrana de casca de ovo (ESM) (AgNPs / ESM). Os nanobiomateriais de AgNPs / ESM tiveram uma área de superfície superior ($159,08 \text{ m}^2 / \text{g}$) do que o ESM natural ($24,32 \text{ m}^2 / \text{g}$) e um tamanho de poros apropriado ($10,92 \text{ nm}$). Uma área de superfície mais alta e um tamanho de poro adequado de curativo para feridas são os dois parâmetros principais para a absorção de fluido e a proteção contra a penetração bacteriana. Estas descobertas sugeriram que os compósitos AgNPs / ESM são candidatos promissores para o desenvolvimento de agente antimicrobiano para dispositivos biomédicos e aplicações terapêuticas, como agente cicatrizante. O resultado também exibiu indiretamente que os compósitos tinham uma atividade antibacteriana desejada e constante. Então, foi assumido que os nanobiocompósitos poderiam prevenir a invasão bacteriana de forma eficiente e rápida e fornecer proteção duradoura durante a cicatrização de feridas.

Afim de obter propriedades adequadas para aplicações como curativo facilitando o processo cicatricial, Enumo et al., (2020) trabalhou com novas biomembranas à base de quitosana (CTS) contendo curcumina (CUR) incorporada em copolímeros plurônicos (PLU). As propriedades mecânicas, térmicas, de dilatação, molhabilidade, liberação e permeação foram avaliadas por DSC, TGA, medições de ângulo de contato com água, FTIR, fluorescência e técnicas microscópicas. Membranas contendo PLU e CUR apresentaram molhabilidade perto da faixa ideal para interação com componentes celulares (ângulo de

contato ~ 40 - 70°), propriedades mecânicas aprimoradas, maior estabilidade térmica, alto grau de intumescimento (> 800%) e liberação de CUR (~ 60%) em comparação com amostras sem adição de PLU. Um superior retenção de CUR na epiderme do que na camada da derme foi observada, que também foi confirmado por microscopia confocal. Além disso, as membranas CTS-PLU carregadas com CUR mostrou-se ativo contra *Staphylococcus aureus* e *Pseudomonas aeruginosa* (MIC = 25 e 100 mg mL⁻¹, respectivamente), as espécies microbianas mais presente em feridas crônicas.

Os nanocompósitos possuem diversas aplicações Esmaeili, et al., (2020), desenvolveu scaffolds nanofibrosos preparados a partir de poliuretano e acetato de celulose usando eletrofiação. Os nanobiomateriais obtidos foram caracterizados por microscopia eletrônica de varredura (MEV), ângulo de contato, tração análise, porosidade e taxa de transmissão de vapor de água (WVTR). 3- [4,5-Dimetiltiazol-2-il] -2,5-difenil tetraO ensaio de brometo de zólio, MTT, confirmou a biocompatibilidade das nanofibras compostas. Os andaimes eram capazes de impedir as bactérias Gram-negativas e Gram-positivas por meio do contato direto com elas. Os estudos histopatológicos indicaram que o arcabouço incorporou nanocompósitos rGO / Ag e curcumina o maior efeito na cicatrização de feridas e pode promover a taxa de cicatrização de feridas artificiais. A presença de curcumina e Nanocompósitos rGO / Ag na matriz de nanofibras PU/CA, aumentaram o diâmetro da fibra, o que resulta em porosidades mais altas. Uma grande vantagem dos nanocompósitos atuais é sua propriedade antibacteriana, a qual o elevam a uma taxa de inativação de 100% para Gram-negativos, *Pseudomonas*; e 95% contra bactérias Gram-positivas, *S. aureus*, após contato direto com as células microbianas. Estudos histopatológicos in vivo mostraram que, a adição de curcumina e nanoestruturas rGO / Ag podem facilitar o processo cicatricial. Os resultados das análises do nanobiomaterial indicou ter um bom potencial biomédico na cicatrização de feridas.

5 | CONCLUSÃO

Os trabalhos analisados demonstraram desde princípios básicos até aplicações recentes dos nanobiomateriais em cicatrização de feridas com diferentes formas de atuação reacional no organismo. A evolução da nanociência e nanotecnologia tem sido expansiva em várias áreas da medicina regenerativa abordando o processo cicatricial, pois suas nanoestruturas são facilmente reativas no organismo. Notou-se que as AgNPs aceleram a taxa de cicatrização de feridas, estimulando a proliferação e realocação de queratinócitos, podendo interagir com proteínas contendo enxofre em células de membranas de bactérias e, preferencialmente, atacar a cadeia respiratória levando à apoptose. Portanto, as características biológicas do nanobiomaterial é quem vão inferir sua eficácia no referido tratamento. O surgimento de novos materiais com melhorias antibacterianas, antiinflamatórias e propriedades curativas em comparação com curativos convencionais

para feridas tem características sociais e apelo econômico.

REFERÊNCIAS

ABREU, E.S.; MARQUES, M.E.A. **Histologia da pele normal**. In: JORGE, S.A.; DANTAS, S.R.P.E. Abordagem multiprofissional do tratamento de feridas. São Paulo: Atheneu, 2005.p. 17- 29.

BARKU. V. Y. A. **Wound Healing: Contributions from Medicinal Plants and Their Phytoconstituents**. Annual Research & Review in Biology. University of Cape Coast, Ghana. 2018.

BERTHET, M et al. **Nanoparticle- Based Dressing: The future of Wound Treatment?** Trends in Biotechnology. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2017.08.007>. 2017

CANCINO, J. MARANGONI, V.S. ZUCOLOTTI, V. **Nanotecnologia em medicina: aspectos fundamentais e principais preocupações**. Química Nova. Quím. Nova vol.37 no.3 São Paulo May/ June 2014. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140086>

CODEVILLA. C. F., BARIN, J. S., SILVA, C.de B. da., SILVA, T. M. da e MENEZES, C. R. de.; **Incorporation of curcumin into nanostructured systems: A review**. Ciência e Natura, Santa Maria v.37 Ed. Especial-Nano e Microencapsulação de compostos bioativos e probióticos em alimentos , 2015, Dez. p. 152 – 163 Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM ISSN impressa: 0100-8307

ESMAEILI, E. et al., **The biomedical potential of cellulose acetate/polyurethane nanofibrous mats containing reduced graphene oxide/silver nanocomposites and curcumin: Antimicrobial performance and cutaneous wound healing**. International Journal of Biological Macromolecules. Volume 152, 1 June 2020, Pages 418-427. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.295>

FLOREA, D. A. et al., **Clinical applications of bioactive materials**. Materials for Biomedical Engineering. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818431-8.00016-7>. 2019

GOONOO, N. BAHAW- LUXIMON, A. **Nanomaterials combination for wound healing and skin regeneration**. Advanced 3D-Printed Systems and Nanosystems for Drug Delivery and Tissue Engineering. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818471-4.00007-8>. 2020

HUDITA, A. et al., **Nanobiomaterials for tissue engineering**. Materials for Biomedical Engineering. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816909-4.00001-4>. 2019

JÚNIOR, E.A.O. MACEDO. A.O.C. BASTOS. J. S. B. BRANDIM. A. S.. MACÊDO. H. R. A. **Preparo e caracterização de membranas poliméricas Quitosana/CaCO₃ extraído da casca de ovos de galinha caipira**. Anais [4ª Edição do Workshop de Biomateriais, Engenharia de Tecidos e Órgãos Artificiais] p. 254. Campina Grande- PB. 2015.

KOUTSOPOULOS, S. **Molecular fabrications of smart nanobiomaterials and applications in personalized medicine**. Advanced Drug Delivery Reviews. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.08.002>. Volume 64, Issue 13, October 2012, Pages 1459-1476

KUMAR, S. S. D. et al., **Recent advances on silver nanoparticle and biopolymer based biomaterials for wound healing applications**. International Journal of Biological Macromolecules. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.003>. 2018

LI, X. et al., **Development of an antibacterial nanobiomaterial for wound-care based on the absorption of AgNPs on the eggshell membrane.** Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. Volume 183, 1 November 2019, 110449. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.110449>

MACIEL, B. B. **Isolamento, cultivo e caracterização de células tronco mesenquimais da medula óssea e do tecido adiposo de gato.** Dissertação- Universidade Federal do Paraná. 2010.

PAIVA, L. F. SANTOS, T. MOREIRA, R. M. DA S. SOARES, G. D. DE A. **Síntese e caracterização de nanopartículas de prata em solução de poli (ácido acrílico).** Painel PEMM 2012 – 24, 25 e 26 de outubro de 2012 – PEMM/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2012.

PAUL, M. et al., **Pongamia pinnata seed extract-mediated green synthesis of silver nanoparticles: Preparation, formulation and evaluation of bactericidal and wound healing potential.** Appl Organometal Chem. 2018; e4624. <https://doi.org/10.1002/aoc.4624>

PIMENTA, M.; MELO, P de.; **Nanociências e nanotecnologia.** Parcerias Estratégicas, Vol. 9, No 18 (2004).

PIRES, A. L. R., BIERHALZ, A. C. K., MORAES, A. M. **Biomateriais: tipos, aplicações e mercado. Departamento de Engenharia de Materiais e de Bioprocessos.** Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2015.

ROSSI- BERGMANN, B. **A nanotecnologia: da saúde para além do determinismo tecnológico.** Cienc. Cult. vol.60 no.2 São Paulo. 2008.

SILVA, M. M. P. et al., **The use of nanoparticles in wound treatment: a systematic review.** Rev Esc Enferm USP. 2017;51e03272. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1980-220X2016043503272>.

SIQUEIRA, L. C. B., **Biocompósitos P₃HB/nano-HAP para uso na área medicodontológica.** Tese. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. RIO DE JANEIRO. 2016.

STRONCEK, J.D.; BELL, N.; REICHERT, W.M. **Instructional powerpoint presentations for cutaneous wound healing and tissue response to sutures.** Journal os biomedical Materials Research, v.90^a, n.4, p. 1230-1238, 2009.

TAMER, T. M. et al., **MitoQ Loaded Chitosan-Hyaluronan Composite Membranes for Wound Healing.** Academic Open Access Publishing. Materials 2018, 11, 569; doi:10.3390/ma11040569

TIELAS., A. GABRIEL, B. SANTOS, C. GARCIA, D. ALCORTA, J. BLANCHY, M. BLANCO, M. MENES, O. GALVEZ, S. NETO, V.; **Rede de transferência e integração para a aplicação de materiais de alto valor acrescentado à base de nanopartículas no âmbito da indústria SUDOE.** Nanomateriais – Guia para o espaço industrial SUDOE. Portugal. 2014.

VIJAYAKUMAR, V. SAMAL, S. K. MOHANTY, S. NAYAK, S. K. **Recent advancements in biopolymer and metal nanoparticle-based materials in diabetic wound healing management.** International Journal of Biological Macromolecules. Volume 122, 1 February 2019, Pages 137-148. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.120>

WIEGAND, C.; HIPLER, U. **Polymer- based Biomaterials as Dressings for Chronic Stagnating Wounds.** Macromolecular. acromolecular Symposia Volume 294, Issue 2.2010. <https://doi.org/10.1002/masy.200900028>

CAPÍTULO 8

INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE FERROCARBONILA EM MATERIAIS ABSORVEDORES DE RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 06/01/2021

Cecília Maia Corsato

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)
São José dos Campos, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3350513803471753>
<http://orcid.org/0000-0001-9804-8165>

Nicholas Eras Fonseca

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)
São José dos Campos, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0252689841316986>
<https://orcid.org/0000-0002-1577-3423>

Bruno Ferraz Donati

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)
São José dos Campos, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6080466241221952>
<http://orcid.org/0000-0001-9733-7475>

Gustavo Freitas de Souza

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)
São José dos Campos, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8638707185810150>

Rademaks Bento de Oliveira

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)
São José dos Campos, SP, Brasil
Centro Paula Souza, Etec Cônego José Bento
Jacareí, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2090739936431882>
<http://orcid.org/0000-0003-3685-1678>

Valdirene Aparecida da Silva

Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento
Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP)
São José dos Campos, SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7589457380501169>
<http://orcid.org/0000-0002-7192-3094>

RESUMO: Materiais Absorvedores de Radiação Eletromagnética (MARE) tem sido amplamente estudados devido ao crescimento de poluição eletromagnética ocasionados por diversos dispositivos eletrônicos. A ferrocarbonila (FC), aditivo ferrimagnético, é uma grande promissora como um MARE devido aos seus parâmetros de permissividade e permeabilidade. O objetivo do presente trabalho é mostrar que a FC possui ressonância ferrimagnética na banda X (8,3 – 12,4 GHz). O compósito da FC aditado em resina epóxi foi feito para 4 concentrações: 30%, 40%, 50% e 60%, com 4mm de espessura, dos quais foram feitas e analisadas as medidas de refletividade e dos parâmetros complexos de cada amostra. Os resultados obtidos mostram que os compósitos apresentam bom comportamento de banda larga para a banda X, com atenuação de -11 dB, aproximadamente 93% de atenuação da onda eletromagnética incidente.

PALAVRAS-CHAVE: Materiais absorvedores de radiação eletromagnética, Ferrocarbonila, Refletividade, Banda larga.

INFLUENCE OF FERROCARBONYL CONCENTRATION IN RADAR ABSORBING MATERIALS

ABSTRACT: Radar Absorbing Materials (RAM) has been widely studied due to the growth of electromagnetic pollution caused by several electronic devices. Carbonyl iron (FC), a ferrimagnetic additive, is very promising as a RAM due to its permittivity and permeability parameters. The purpose of this work is to show that carbonyl iron has ferrimagnetic resonance in band X (8.3 - 12.4 GHz). The composite carbonyl iron was added in epoxy resin in four concentrations: 30%, 40%, 50% and 60% (w/w), with 4mm of thickness, from which the reflectivity measurements and the complex parameters of each sample were made and analyzed. The results obtained show that the composites present good broadband behavior in the X band, with an attenuation of -11 dB, approximately 93% of the attenuation of the incident electromagnetic wave.

KEYWORDS: Radar Absorbing Materials, Reflectivity Carbonyl iron, broadband.

1 | INTRODUÇÃO

A estratégia de defesa aérea ou marítima conta com dispositivos que possibilitam a detecção de um alvo, de modo a dificultar ou minimizar a sua visualização, tanto acústico, como ótico, ou por meio de radares. Com isso foram criadas técnicas apropriadas que incluem o emprego de materiais absorvedores de radiação eletromagnética (MARE) (MASLOVSKIY, 2019).

Com o grande desenvolvimento da tecnologia de radares, dispositivos eletrônicos e comunicação sem fio, os MARE tornaram-se de grande importância, pois a interferência das ondas eletromagnéticas, não só comprometem a saúde humana, mas também, pode interromper dispositivos eletromagnéticos e, também aumentar os problemas relacionados em aplicações militares (IDRIS et al, 2016).

Um material absorvedor de radiação eletromagnética (MARE) é constituído por compostos com elevada perda de energia, que absorvem a radiação da onda eletromagnética incidente em frequência sintonizadas e dissipam a energia absorvida em forma de calor, inibindo a energia necessária para o sinal de detecção por meio de radar (NOHARA; REZENDE, 2007) (SILVA; REZENDE, 2018).

Os MARE são classificados em dois tipos, os dielétricos e os magnéticos. Podemos citar como materiais utilizados para obtenção de MARE magnéticos as ferritas e a ferrocarbonila (FC) e para obtenção de dielétricos, polímeros condutores e materiais carbonosos, como grafeno e nanotubos de carbono (FOLGUEIRAS; ALVES; REZENDE, 2010) (IDRIS et al, 2016).

Para um bom desempenho, o material absorvedor depende da frequência da onda incidente e da espessura do material processado e, para que seja considerado ideal, deve satisfazer dois pré-requisitos: (i) a impedância correspondente entre o espaço livre e a superfície do material para evitar a reflexão da onda; (ii) para os materiais absorvedores

apresentarem absorção da onda eletromagnética incidente, é necessário apresentarem mecanismos de perdas dielétricas e/ou magnéticas dentro dos absorvedores (IDRIS et al, 2016) (SILVA; REZENDE, 2018).

A carga absorvedora estudada é a ferrocarbonila (FC), um aditivo ferrimagnético que contém aproximadamente 95-99% de ferro e o restante em carbono e oxigênio, sendo caracterizada pela morfologia esférica.

O objetivo principal deste estudo é mostrar que a FC possui ressonância ferrimagnética em uma faixa ampla de frequência e sua termoestabilidade, estável até 300°C, faz com que seja caracterizada como um bom material absorvedor.

1.1 Caracterização eletromagnética

Quando uma onda eletromagnética atinge um alvo, a radiação pode ser total ou parcialmente refletida na primeira superfície do material ou transmitida através dela. Quando a onda eletromagnética é transmitida, a energia da onda pode ser atenuada no material por absorção intrínseca e/ou reflexões múltiplas. Assim, a atenuação depende dos mecanismos de reflexão na superfície do material, da absorção da onda que viaja pelo material e das múltiplas reflexões da onda nas interfaces presentes no absorvedor. A atenuação da onda eletromagnética em um material é frequentemente indicada por perda de reflexão (RL) (SILVA; REZENDE, 2018), representadas nas equações (1), (2) e (3):

$$RL = -20 \log \left| \frac{Z_{in-1}}{Z_{in+1}} \right|, \quad (1)$$

$$\text{Onde: } Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu' - j\mu''}{\epsilon' - j\epsilon'' - j\sigma/(\omega\epsilon_0)}} \tanh \left(jd \frac{\omega \sqrt{(\mu' - j\mu'')(\epsilon' - j\epsilon'' - j\sigma/(\omega\epsilon_0))}}{c} \right) \quad (2)$$

$$\omega = 2\pi f, \quad (3)$$

Onde: Z_{in} , μ' , ϵ' , μ'' , ϵ'' , ϵ_0 , σ , f , d e c são a impedância da onda eletromagnética incidente, a parte real da permeabilidade magnética e da permissividade elétrica; a parte imaginária da permeabilidade magnética e permissividade elétrica; a permissividade elétrica no vácuo, igual a $8,854 \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$, a condutividade elétrica, a frequência da onda eletromagnética, a espessura do corpo de prova e a velocidade da luz, igual a $3,0 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$, respectivamente.

Os parâmetros de permissividade e permeabilidade têm uma correlação direta com as características de absorção de um MARE. Seus componentes reais e imaginários permitem avaliar a dissipação de energia na forma de calor em um absorvedor de micro-ondas (SILVA, 2008).

A relação entre a atenuação da radiação eletromagnética absorvida (energia absorvida pelo material) em dB e a porcentagem é apresentada na Tabela 1 (LEE, 1991).

Atenuação da radiação (dB)	Absorção da radiação incidente (%)
0	0
-3	50
-10	90
-15	96,9
-20	99
-30	99,9
-40	99,99

Tabela 1 - Relação entre refletividade e energia absorvida

Fonte: LEE, 1991.

2 | METODOLOGIA

Para o estudo, foram utilizados ferrocarbonila comercial da empresa Basf Ltda e como matriz polimérica uma resina epóxi Hexion tipo EpikoteTM MGS[®] L135.

O preparo dos MARE foi feito por dispersão da FC na matriz polimérica em concentrações de 30, 40, 50 e 60% (m/m). Os corpos de prova foram feitos em moldes de dimensões capazes de encaixar perfeitamente no guia de ondas para Banda X, 22,9 mm x 10,2 mm, com espessura de 4 mm.

A caracterização eletromagnética dos MARE obtidos foi feita pela técnica de guia de ondas, na faixa de frequência da banda X (8,2 à 12,4 GHz), com o uso de um Analisador de Redes Vetorial da marca Agilent Technologies, modelo PNA-L-N5230C, no Laboratório de Guerra Eletrônica do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA).

3 | RESULTADOS

Os gráficos da Figura 1 (a) e (b) mostram, respectivamente, a refletividade e os parâmetros de permissividade e permeabilidade reais e imaginários para as frequências de 8,2 à 12,4 GHz dos MARE com 30% (m/m) de ferrocarbonila.

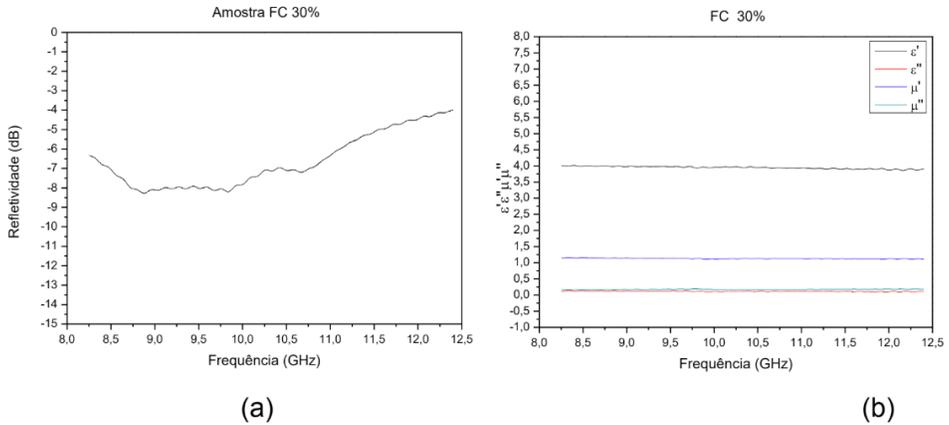


Figura 1 (a) e (b), refletividade e dos parâmetros de permissividade e permeabilidade da amostra 30%, respectivamente.

Fonte: Os Autores

Os gráficos da Figura 2 (a) e (b) mostram, respectivamente, a refletividade e os parâmetros de permissividade e permeabilidade reais e imaginários para as frequências de 8,2 à 12,4 GHz dos MARE com 40% (m/m) de ferrocarbonila.

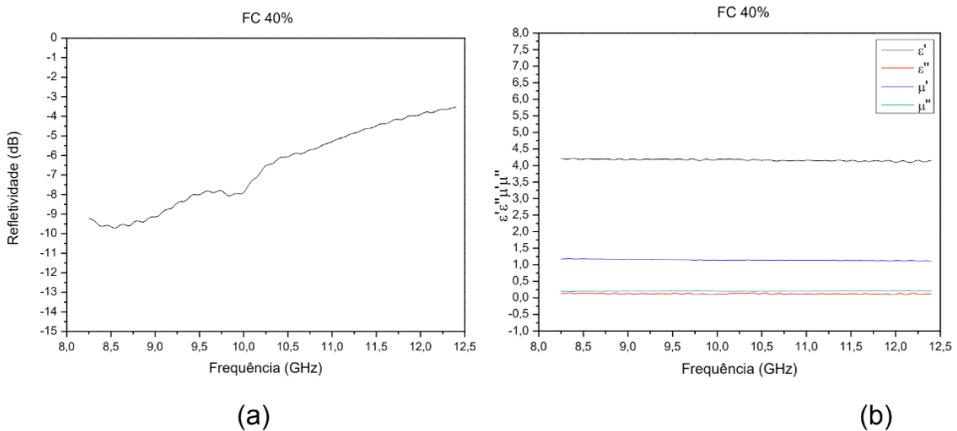


Figura 2 (a) e (b), refletividade e dos parâmetros de permissividade e permeabilidade da amostra 40%, respectivamente.

Fonte: Os Autores

Os gráficos da Figura 3 (a) e (b) mostram, respectivamente, a refletividade e os parâmetros de permissividade e permeabilidade reais e imaginários para as frequências de

8,2 à 12,4 GHz dos MARE com 50% (m/m) de ferrocarbonila.

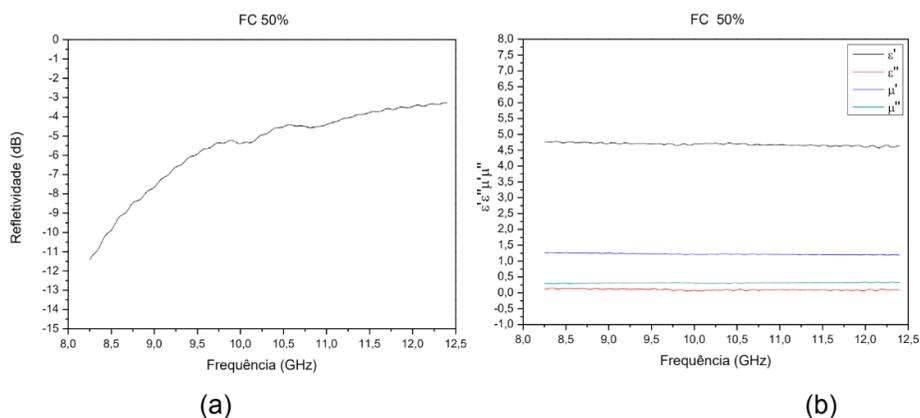


Figura 3 (a) e (b), refletividade e dos parâmetros de permissividade e permeabilidade da amostra 50%, respectivamente.

Fonte: Os Autores

Os gráficos da Figura 4 (a) e (b) mostram, respectivamente, a refletividade e os parâmetros de permissividade e permeabilidade reais e imaginários para as frequências de 8,2 à 12,4 GHz dos MARE com 60% (m/m) de ferrocarbonila.

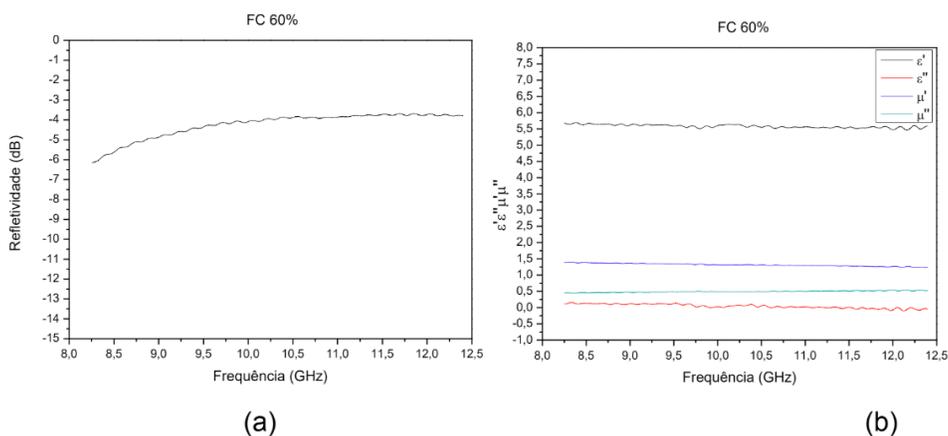


Figura 4 (a) e (b), refletividade e dos parâmetros de permissividade e permeabilidade da amostra 60%, respectivamente.

Fonte: Os Autores

A Figura 5 apresenta o gráfico da refletividade em porcentagem para os MARE com as diferentes concentrações de ferrocarbonila, 30, 40, 50 e 60 % (m/m), na faixa de frequência de 8,2 à 12,4 GHz.

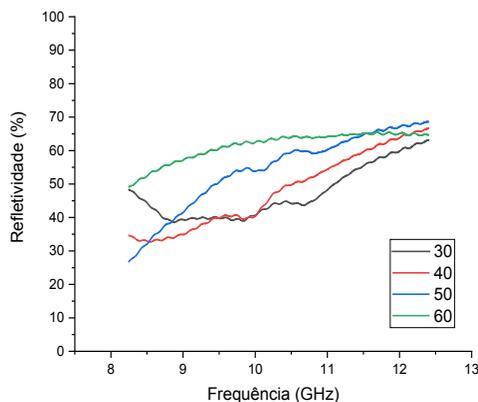


Figura 5 - Refletividade em porcentagem dos Mare obtidos nas diferentes concentrações, 30, 40, 50 e 60 % (m/m).

Fonte: Os Autores

4 | DISCUSSÃO

Quando uma onda eletromagnética incide em um material dielétrico, há a formação de dipolos elétricos que se alinham ao campo elétrico incidente e esse alinhamento dos dipolos está diretamente ligado à absorção de energia da onda eletromagnética. A componente real da permissividade está relacionada com o armazenamento da energia, enquanto a componente imaginária com a sua dissipação. No caso de um material magnético, a perda está associada com a variação do alinhamento e rotação dos *spins* de magnetização (FOLGUEIRAS; ALVES; REZENDE, 2010).

Na Figura 1 (a), percebe-se uma atenuação máxima na faixa de frequência de 9 à 10 GHz, apresentando um pico de aproximadamente -10dB (90% de absorção). O gráfico da Figura 1 (b) mostra os valores dos parâmetros complexos, de maneira que é possível observar que os valores de permeabilidade reais e imaginários estão em 1 e 0, respectivamente. Na Figura 2 (b), percebe-se um aumento na permissividade real, permitindo um maior armazenamento de energia, justificando o aumento da refletividade da Figura 2 (a). A partir da Figura 3, nota-se que as propriedades magnéticas do material apresentam uma maior interação com a onda eletromagnética, mostrando um aumento da permissividade real e imaginária, ϵ' e ϵ'' (Figura 3 (b)), de modo que possibilitou maior refletividade com um

máximo de -11 dB (Figura 3 (a)).

Quando a concentração da FC aumenta para 60%, apresentado na Figura 4, nota-se um aumento das propriedades elétricas e magnéticas do absorvedor (Figura 4 (b)) devido a maior presença de FC no MARE, assim, sugere-se que tanto a propriedade elétrica quanto a magnética tiveram maior interação com a onda eletromagnética incidente.

Nota-se pelos gráficos da refletividade (a), que o aumento da concentração de FC nos MARE ocasionou um deslocamento da faixa de frequência do pico atenuado, isto é, para a concentração de 30% a atenuação máxima se dá faixa de frequência entre 9 e 10 GHz, para concentração de 40 %, de 8,5 até 9,5 GHz, enquanto para a concentração de 60%, a faixa apresenta uma tendência de atenuação em frequências mais baixas, inferior à 8 GHz.

Esse deslocamento pode ser explicado pelo aumento do armazenamento de energia do material, ou seja, pelo aumento da componente real da permissividade. Esse acúmulo de energia não foi totalmente dissipado na forma de calor, o que impediu que outras ondas eletromagnéticas de mesma frequência pudessem interagir com o material, contribuindo para reflexão dessas ondas (FOLGUEIRAS; ALVES; REZENDE, 2007). Porém, com isso a absorção do material melhorou com comportamento de banda larga, apresentando resultados que variam de valores mínimos de atenuação, -5 dB (70% absorção), em toda a faixa de frequência estudada (8,3 ~ 12,4 GHz).

Os resultados de refletividade obtidos podem ser explicados com base nas equações (1), (2) e (3), com o valor de refletividade variando em função da espessura do MARE.

A correlação entre os parâmetros complexos apresentados nos gráficos (b) das Figuras 1, 2, 3 e 4, bem como as curvas de refletividade, apresentadas nos gráficos (a) das Figuras 1, 2, 3 e 4, evidenciam que o processamento de um absorvedor é uma tarefa complexa, onde diferentes parâmetros como concentração e espessura das amostras devem ser considerados, além do comprimento de onda da radiação incidente (SILVA e REZENDE, 2018).

A Figura 5 apresenta o gráfico da energia absorvida pelo MARE em porcentagem nas diferentes concentrações estudadas. É possível verificar, que o aumento da concentração de ferrocarbonila, contribui com o aumento da absorção da onda eletromagnética.

5 | CONCLUSÃO

Analisando as menores concentrações da ferrocarbonila nos MARE, a refletividade apresentou picos de ressonância de 9 a 10 GHz, devido a interação com o campo elétrico da onda eletromagnética. O aumento da concentração de FC no compósito permitiu que os parâmetros magnéticos pudessem interagir com a onda, adquirindo, assim, uma melhor distribuição na faixa de frequência estudada (8,2-12,4 GHz), com uma atenuação de no mínimo -5 dB e máxima de -11,3 dB, aproximadamente 93% de atenuação.

Os parâmetros de permeabilidade real e imaginário são intrínsecos de um material e os parâmetros de permissividade real e imaginário são extrínsecos. Uma vez que os parâmetros estão em função da concentração da FC no corpo de prova e da espessura do MARE, para uma concentração específica, é possível melhorar os valores de refletividade para diferentes comprimentos ondas com diferentes espessuras.

Com uma atenuação cobrindo uma banda larga em toda a faixa de frequência, a FC apresentou um bom comportamento de absorvedor de onda eletromagnética.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Processos nº 408560/2016-9) pelo apoio financeiro e ao Eng. Newton Adriano dos Santos Gomes, do Laboratório de Guerra Eletrônica, ITA pelo auxílio nas medições eletromagnéticas.

REFERÊNCIAS

FOLGUERAS, L. C.; ALVES, M. A.; REZENDE, M. C. Development, characterization and optimization of dielectric radar absorbent materials as flexible sheets for use at X-band. In: **2007 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference**. IEEE, 2007. p. 488-491.

FOLGUERAS, L. C.; ALVES, M. A.; REZENDE, M. C. Dielectric properties of microwave absorbing sheets produced with silicone and polyaniline. **Materials Research**, v. 13, n. 2, p. 197-201, 2010.

FOLGUERAS, L. C.; ALVES, M. A.; REZENDE, M. C. Microwave absorbing paints and sheets based on carbonyl iron and polyaniline: measurement and simulation of their properties. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 2, n. 1, p. 63-70, 2010.

IDRIS, F.M.et al. Recent developments of smart electromagnetic absorbers based polymer-composites at giga-hertz frequencies. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**. 405, 2016, p. 197–208.

LEE, S.M. International encyclopedial of composites. v.6, New York: VHC Publishers, 1991.

MASLOVSKIY, A.A.et al. MÉTODO DE MASCARAMENTO DE RADAR DOS OBJETOS DE EQUIPAMENTOS MILITARES BASEADOS NO SOLO. **Telecomunicações e Engenharia de Rádio**, v. 78, n. 1, 2019.

NOHARA, E. L.; REZENDE, M. C. Materiais absorvedores de radiação eletromagnética (2-40 GHz) baseados em ferrocarbonila. **Anais do**, v. 8, p. 1-3, 2007.

SILVA, V A. **Propriedades Eletromagnéticas de Absorvedores de Microondas Baseados em Hexaferritas de CaNiTi e CaCoTi e em nanoferritas de NiZn, NiCuZn e BaNiTi**. 2008. Tese de Doutorado. Tese de mestrado—Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica—Área de Física e Química dos Materiais Aeroespaciais. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos.

SILVA, V. A.; REZENDE, M. C. Effect of the Morphology and Structure on the Microwave Absorbing Properties of Multiwalled Carbon Nanotube Filled Epoxy Resin Nanocomposites. **Materials Research**. v. 21 n. 5, 2018.

INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO RECICLADAS EM COMPÓSITO CONCRETO

Data de aceite: 01/02/2021

Gabriela T. Santiago

Departamento Materiais e Civil
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Matheus Vosgnach

Departamento Materiais e Civil
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Vinício Ceconello

Departamento Materiais e Civil
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Edson Francisquetti

Instituto Federal Ciência e Tecnologia-IFRS
Farroupilha-RS

Mara Andrade Zeni

Departamento Materiais e Civil
Universidade de Caxias do Sul – UCS
Instituto Federal Ciência e Tecnologia-IFRS
Farroupilha-RS

RESUMO: A produção de resíduos poliméricos sem o descarte adequado serviu de base para pesquisas voltadas para a reutilização desses materiais na construção civil, que se destaca pela reutilização de resíduos em processos produtivos que buscam reduzir custos e preservar recursos naturais não renováveis. Neste artigo, as propriedades entre um concreto convencional e um concreto com fibras de PP pós-consumo são comparadas, injetadas para aumentar a resistência mecânica no compósito. Os ensaios de compressão axial, compressão diametral e resistência à flexão foram realizados. Utilizando

uma relação água-cimento de 0,53 e um teor de argamassa de 55%, as fibras produzidas a partir de materiais reciclados apresentam potencial para uso na construção civil para elementos que não exigem alta resistência.

PALAVRAS-CHAVE: Polipropileno; Reciclagem; Concreto; Construção civil.

INCORPORATION OF POLYPROPYLENE FIBERS RECYCLED IN CONCRETE COMPOSITE

ABSTRACT: The production of polymer waste without proper disposal has been the basis for research aimed at the reuse of these materials in civil construction, which stands out for the reuse of waste in productive processes trying to reduce costs and preserve non-renewable natural resources. In this paper the properties between a conventional concrete and a concrete with recycled polypropylene fibers are compared, working toward increase tensile strength and addition in the composite. Axial compression, diametric compression and flexural strength tests were performed. Using water-cement ratio of 0.53 and a mortar content of 55%, the fibers produced from recycled materials shows potential for use in civil construction for elements that do not require high strength.

KEYWORDS: Polypropylene; Recycling; Concrete; Civil construction.

INTRODUÇÃO

A reciclagem de materiais poliméricos destaca-se como um promissor campo

socioeconômico, o qual apresenta crescente demanda por produtos e por apelos ambientais. O destino de resíduos poliméricos para outras finalidades que não sejam os aterros sanitários caracteriza-se como uma importante medida de valorização de resíduos poliméricos pós-consumo com reciclagem e ou aproveitamento destes materiais como matéria prima (CARASCHI, J.C. et al 2015).

Embora pouco empregados no Brasil, o uso de argamassas e concretos contendo fibras poliméricas vêm sendo largamente ampliado nos países desenvolvidos, com efeitos benéficos para a melhoria da qualidade e do desempenho das construções de um modo geral, abrindo um novo campo de aplicação na Construção Civil.

No trabalho de Mendoza et al. (2011) afirmam que as variáveis que se consideram são: o tamanho máximo do agregado graúdo, os finos na areia e o conteúdo de fibras. A presença das fibras no concreto fresco modifica a consistência da mistura e reduz as fissuras por contração plástica; em estado endurecido, incrementa a tenacidade e a resistência ao impacto e reduz a contração por secado e a fissuração; as outras propriedades permanecem sem mudanças significativas.

O emprego de fibras de polipropileno (PP) como elementos de reforço no concreto vem tornando-se crescente nos últimos anos. No plano econômico, o aumento do uso de fibra polimérica se justifica não apenas pelo baixo custo, mas também pela fácil disponibilidade do produto. O compósito concreto com a incorporação de fibras de PP reciclado evidencia o ganho na resistência à tração, resistência química e resistência ao fogo, conforme descrito por Piazza et al. (2017).

Assim, este trabalho tem como objetivo comparar as propriedades do concreto convencional com compósito concreto com a incorporação de fibras de PP pós-consumo.

METODOLOGIA

Para o presente estudo, os resíduos de PP vieram da reciclagem em forma de *pellets*, depois foram submetidos à extrusão, com uma extrusora monorosca da marca Seibt ES-35FR, com perfil de temperatura de 140 a 160°, assim obtendo-se as fibras com espessura média de 2,22 mm. Elas foram cortadas com comprimento de 4 cm (Fig. 1) pois as fibras devem ter, pelo menos, o comprimento de duas vezes a dimensão máxima do agregado graúdo conforme Figueiredo (2000).



Figura 1 – Fibras cortadas com 4cm de comprimento

A caracterização dos materiais foi feita em triplicata, através dos ensaios de granulometria, massa unitária e massa específica, esses ensaios seguiram as diretrizes das ABNT NBR7211:2005, ABNT NBR NM 45 e ABNT NBR NM 52, respectivamente. Na tabela 1 encontram-se os valores obtidos para os ensaios de massa unitária e massa específica realizados para os agregados utilizados, também, para o cimento CPIV foi encontrada uma massa específica de $2,83 \text{ g.cm}^{-3}$ e módulo de finura de 0,12%, segundo ABNT NBR 11579:2012.

MATERIAL	MASSA UNITÁRIA (kg.m^{-3})	MASSA ESPECÍFICA (g.cm^{-3})
Areia média	1547,43	2,62
Brita I	1365,55	-

Tabela 1 - Caracterização dos materiais

Assim, o compósito foi desenvolvido utilizando o traço de 1:2,3:2,7, com a relação água cimento (a/c) de 0,53 e teor de argamassa de 55%. Os ensaios foram realizados utilizando corpos de prova do concreto sem incorporação da fibra polimérica e com teores de 0,9, 1,8 e 2,7 kg.m^{-3} Tab.2) .

GRANULOMETRIA – AREIA MÉDIA			
Peneiras (abertura em mm)	Massa retida da amostra (g)	% retido	% retido acumulado
4,8	0,47	0,09	0,09
2,4	3,69	0,74	0,83
1,2	17,71	3,55	4,38
0,6	40,98	8,21	12,59
0,3	159,71	31,99	44,58
0,15	228,09	45,69	90,27
FUNDO	48,58	9,73	100,00

GRANULOMETRIA – BRITA I			
Peneiras (abertura em mm)	Massa retida da amostra (g)	% retido	% retido acumulado
19	14,05	0	0
12,5	640,34	67,14	67,14
9,5	291,84	27,01	94,15
6,3	52,40	5,72	99,87
4,8	0,32	0,00	99,87
2,4	0,00	0,00	99,87
FUNDO	1,16	0,10	99,98

Tabela 2 - Granulometria dos agregados

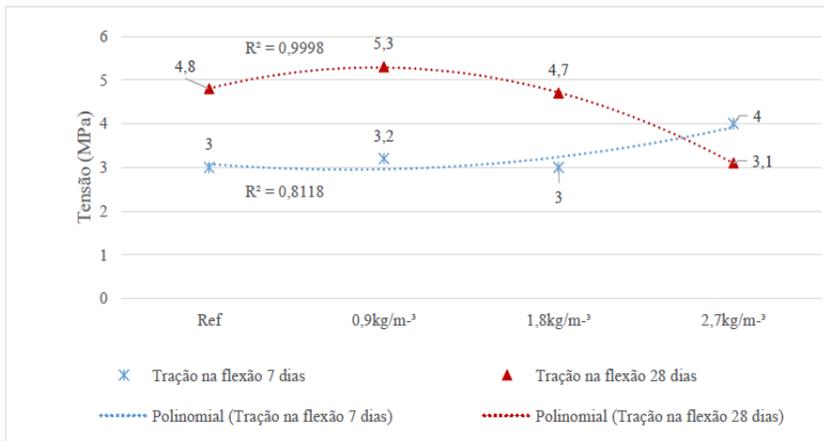


Figura 4 - Ensaio de tração na flexão

A mistura foi realizada em uma betoneira de 200 litros de capacidade, os materiais foram adicionados na seguinte ordem: Brita, 1/3 do total de água, cimento CPIV-32, 1/3 do total de água, areia média, o restante d'água junto com 0,3% da massa do cimento de aditivo super plastificante Glenium 51 e por fim as Fibras de Polipropileno Recicladas - FPPR.

Após o processo de preparação foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone, segundo a norma ABNT NBR NM67:1998, com abatimento previsto de 100 ± 20 mm.

Segundo a norma ABNT NBR 5738:2015, foram moldados 10 corpos de prova de

10x20cm, e, foram moldados mais 4 corpos de prova de 50x15x15cm. Com 24 horas os corpos de prova foram desmoldados e colocados em cura submersa com hidróxido de cálcio até as idades de rompimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estado fresco do concreto foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone os valores obtidos são apresentados na Figura 2 e estão em conformidade com o esperado do concreto convencional sem adição de fibra.

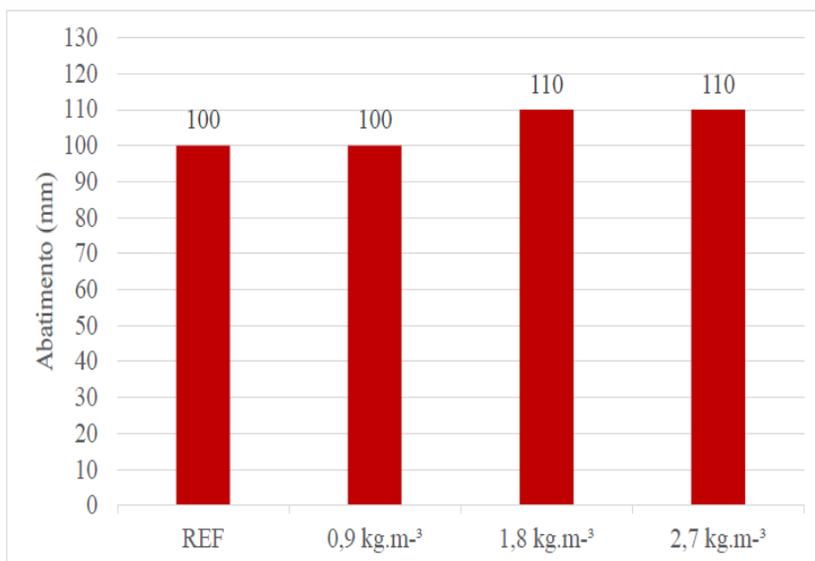


Figura 2 - Resultados do ensaio de abatimento de tronco de cone

Podemos avaliar que a produção de concretos com adição de FPPR não afetou a trabalhabilidade das misturas, isso para os diferentes teores analisados No estado endurecido, as resistências à compressão aos 7 dias, referente as dosagens de 0,9 e 1,8 kg.m⁻³ obtiveram uma perda de 4,2 e 4,74% de resistência e a dosagem 2,7 kg.m⁻³ um aumento de 0,53%, respectivamente em relação ao traço referência conforme Fig.3. Aos 28 dias, as dosagens de 0,9 e 1,8 kg.m⁻³ tiveram uma perda de 1,06% de resistência, enquanto a dosagem 2,7 kg.m⁻³ apresentou uma redução de 8,45% de resistência.

Ainda a Figura 3 apresenta um comportamento similar no desenvolvimento da resistência a compressão ao longo das adições para as diferentes idades, apresentando um coeficiente de determinação próximo. De uma maneira geral nota-se a redução da resistência a compressão ao passo que são adicionadas as FPPR.

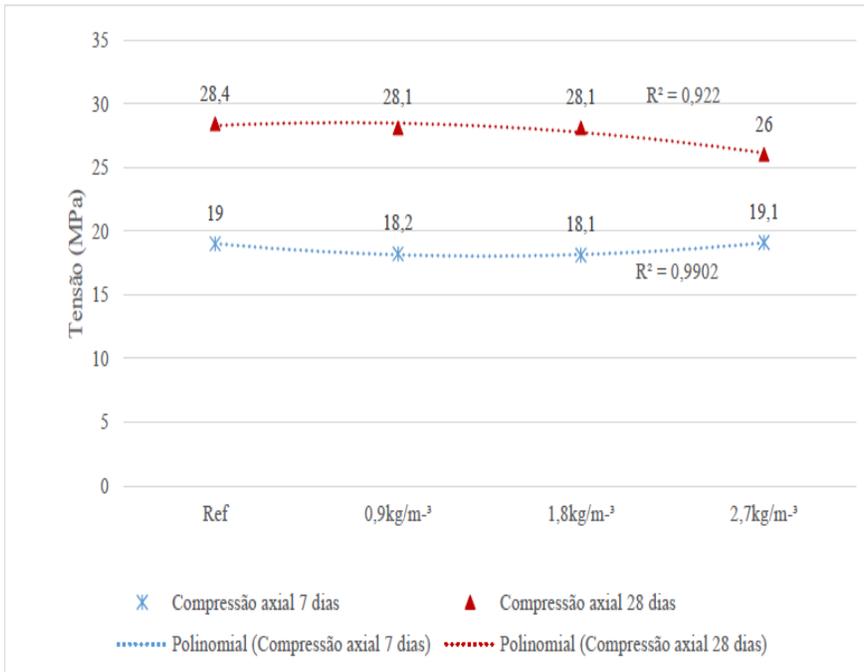


Figura 3 - Ensaio de compressão axial.

Na figura 4 são apresentados os valores de resistência à tração a flexão, segundo norma ABNT NBR 12142:2010.

Os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão aos 7 dias, referentes às dosagens de 0,9 e 2,7 kg.m⁻³ foram positivos, houve aumento de 6,67% de resistência no traço de 0,9 kg.m⁻³ e de 33,33% no de 2,7 kg.m⁻³ em relação ao traço referência (Fig.4), enquanto no ensaio de tração por flexão na dosagem de 0,9 kg.m⁻³ aos 28 dias, houve um ganho de 10,42% de resistência, porém nas dosagens de 1,8 e 2,7 kg.m⁻³ também aos 28 dias, houve perdas de 2,08% e 35,42% de resistência, respectivamente.

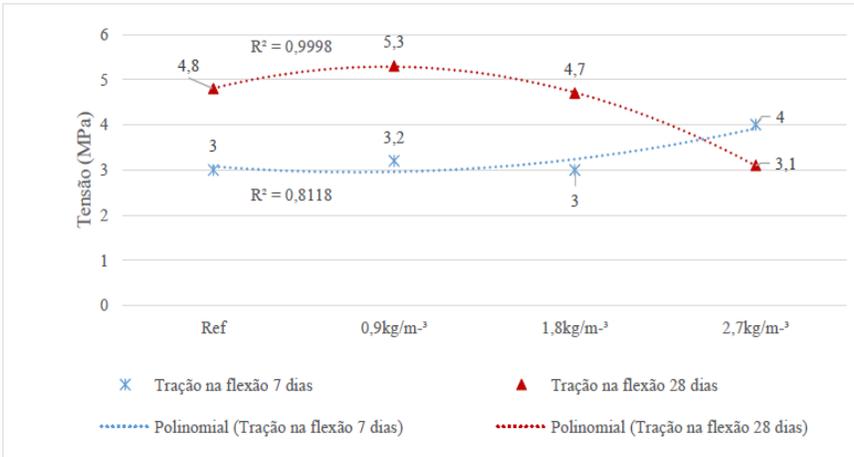


Figura 4 - Ensaio de tração na flexão

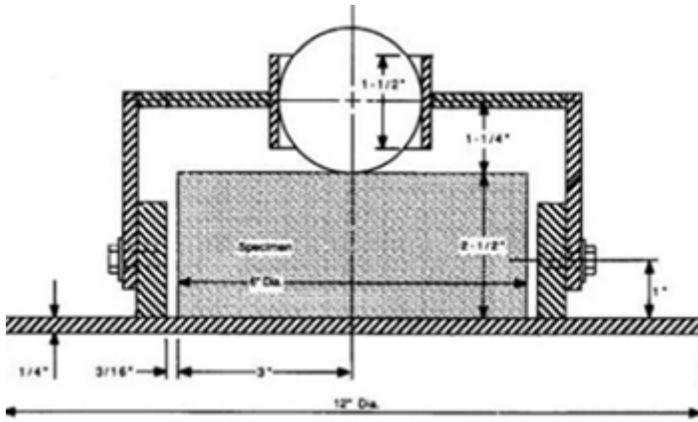


Figura 4a. Norma de ensaio e compressão ASTM C-157.

As figuras 5 e 6 apresentam um corpo de prova submetido ao ensaio de tração na flexão, nesta imagem é possível avaliar a distribuição da fibra na amostra. Essa é uma das principais dificuldades de se trabalhar com fibra nos concretos uma vez que não se garante a homogeneidade de distribuição da fibra no interior da amostra e nem mesmo o sentido de acomodação.



Figura 5 e 6 – Corpos de prova pós rompimento do compósito pelo ensaio de tração na flexão

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, observa-se que a medida que houve aumento do teor de fibras poliméricas ao concreto, não houve perdas de trabalhabilidade e consistência do compósito. Ao realizar comparação com os ensaios de compressão axial, conclui-se que nos traços onde houve a adição de fibra, menores resistências foram obtidas quando comparados ao concreto referência. Os resultados dos ensaios de tração por flexão foram satisfatórios, com exceção do teor $2,7\text{kg.m}^{-3}$ aos 28 dias, onde houve perda de resistência. Os valores dos ensaios de tração por compressão diametral aos 7 dias tiveram resistências baixas, entretanto aos 28 dias todos eles obtiveram resistências superiores ao concreto referência.

Ao término desta etapa podemos avaliar que a adição de fibras recicladas, FPPR, no concreto tem grande potencial, uma vez que elas melhoram a resistência a tração do compósito contribuindo para um conjunto de ações (A.C.Pereira,2017). Deve ainda ser avaliada a interação entre a fibra e os componentes do concreto, a homogeneidade quanto a sua distribuição e os efeitos referente a durabilidade do material.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, FAPERGS, IFRS- Farroupilha, Supermix Ltda. e a Universidade de Caxias do Sul pelo apoio.

REFERÊNCIAS

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de Concreto com fibras de aço/A.D. de Figueiredo. -- São Paulo: EPUSP, 2000.68 p. --(Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/260)

FIGUEIREDO, Antonio Domingues de; TANESI, Jussara; NINCE, Andréia Azeredo. **Concreto com fibras de polipropileno (CFP)**. 2002. Disponível em: <<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/66/artigo287241-1.aspx>>. Acesso em: 28 set. 2018.

GALVÃO, José Carlos Alves. **Uso de materiais poliméricos reciclados em estruturas de concreto para superfícies hidráulicas**. 2010. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Engenharia e Ciência dos Materiais - Pipe., Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/tese/041.PDF>>. Acesso em: 27 set. 2018.

CARASCHI, J.C. et al. **Compósitos de polipropileno reforçado com capim-elefante**. Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, [s.l.], v. 9, n. 3, p.236-246, 30 set. 2015. Universidade Estadual Paulista - Campus de Tupa- SP. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2015v9n3p236-246>.

MONTEIRO, Sergio N. et al. Propriedades de compósitos de tecido de juta descartado reforçando matriz de polietileno reciclado. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [s.l.], v. 11, n. 4, p.403-411, dez. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-70762006000400006>.

PIAZZA, Diego et al. Estudo comparativo das propriedades da fibra de polipropileno reciclado pós-consumo para incorporação em concreto. Fase 1 – Caracterização da fibra. In: Congresso Brasileiro de Polímeros, 14., 2017, Águas de Lindóia. **Anais do 14º Congresso Brasileiro de Polímeros**. Águas de Lindóia, 2017.

ROSÁRIO, Francisco et al. Resíduos de Sisal como Reforço em Compósitos de Polipropileno Virgem e Reciclado. **Polímeros**, v. 21, n. 2, p.90-97, 2011.

SENISSE, Juliana Alves de Lima. **Influência do consumo de água, do teor de adição de microfibras de polipropileno e do tipo de cimento no fenômeno da retração por secagem em concretos empregados em pisos**. 2010. 160 f. Dissertação (Mestrado) UFRGS, Porto Alegre, BR, 2010.

PEREIRA, A.C., **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras e tecido**, 2017. 63f. Dissertação Mestrado, IME, Rio de Janeiro-RJ.

MENDOZA, C.J., AIRE, C. e DÁVILA, P., **Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido**, Concr. cem. investig. desarro vol.2 no.2 México, 2011.

ANÁLISE DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO SOLAR DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS PARA LOCALIDADES NO BAIXO TOCANTINS – PA

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 06/11/2020

Marinaldo de Jesus dos Santos Rodrigues

Universidade Federal Pará (UFPA), Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE)
Belém, PA, Brasil
orcid.org/0000-0003-2707-9735

Silvio Bispo do Vale

Universidade Federal Pará (UFPA), Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE)
Belém, PA, Brasil
<https://lattes.cnpq.br/4884492375891611>

Tatiane Perna Rodrigues

Universidade Federal Pará (UFPA), Grupo de Estudos e Desenvolvimento de Alternativas Energéticas (GEDAE)
Belém, PA, Brasil
<https://lattes.cnpq.br/1572403024575162>

RESUMO: A potência entregue por um painel solar depende de vários fatores e um deles é o seu ângulo de inclinação em relação a horizontal. Embora pequenas alterações no ângulo de inclinação possam não causar grande diferença na sua produção diária, mas quando se refere a produção mensal ou anual, mesmo uma pequena diferença na sua inclinação pode resultar em perdas significativas. Este artigo se concentra na análise de otimização do ângulo de inclinação para painéis solares fixos no

Baixo Tocantins - PA (região Norte do Pará). A análise é feita através da variação do ângulo de incidência dos raios solares para aplicação em sistemas fotovoltaicos. Como referência de dados medidos, foi escolhida a cidade de Belém para estimar os dados de irradiância na cidade de Abaetetuba, situadas aproximadamente na linha do equador. O programa foi desenvolvido em Matlab, para realizar os cálculos e traçar os gráficos que servirão de suporte a esta análise.

PALAVRAS-CHAVE: Ângulo de inclinação para painéis solares fixos; aplicação em sistemas fotovoltaicos; Matlab.

ANALYSIS OF THE SOLAR TILT ANGLE OF PHOTOVOLTAIC PANELS FOR LOCATIONS THE LOW TOCANTINS - PA

ABSTRACT: The output of a solar panel depends on various factors and one of them is the tilt angle in relation to horizontal. Though small changes in the tilt angle might not cause a great difference in the output of a panel in its daily production, even a small difference in solar tilt may result in the loss in its daily production, but when referring to monthly or annual production, even a small difference in its slope can result in significant losses. This paper focuses on optimizing the tilt angle for fixed support panels in Baixo Tocantins - PA (Northern Pará). The analysis is done by varying the angle of incidence of the sun's rays for application in photovoltaic systems. As a reference for measured data, the city of Belém was chosen to estimate irradiance data in the city of Abaetetuba were chosen, located approximately on the equator. The program was developed in Matlab, to perform the calculations

and plot the graphs that will support this analysis.

KEYWORDS: Tilt angle for fixed solar panels; application in photovoltaic systems; Matlab.

1 | INTRODUÇÃO

A energia solar fotovoltaica (SFV) foi implementada em muitas aplicações devido a luz solar ser abundante, limpa e sustentável (Mas'ud, 2018, Guo et al. 2017). Além disso, os sistemas fotovoltaicos exigem custos de operação e manutenção relativamente baixos (Pilakkat, 2019). Não surpreendentemente, de acordo com as previsões do mercado, a capacidade dos sistemas SFV instalada mundialmente de 520 GW no final de 2018 poderia atingir até 1,4 TW em 2024 (Jäger-Waldau, 2019). De acordo com o relatório anual de 2019 do Programa de Sistemas de Energia Fotovoltaica da Agência Internacional de Energia, o mercado de energia solar foi estabelecido na escala Gigawatt (GW) (IEA, 2019). Em 2018, a capacidade instalada total das usinas fotovoltaicas ultrapassou a marca de 510 GW, economizando cerca de 600 toneladas de emissões de CO₂.

A produção de energia, através de painéis fotovoltaicos (PFV), tanto de usinas de grande porte com capacidade instalada de dezenas de MWp (mega wattpico), quanto de instalações residenciais de alguns kWp, são influenciados por diversos fatores que prejudicam o desempenho do sistema, tais como localização geográfica, disposição, orientação e inclinação dos PFV (King et al., 2002; Bari, 2000; Bairi, 1990; Lewis, 1985; Tsalides e Thanailakis, 1985). Embora pequenas alterações no ângulo possam não causar grande diferença na sua produção diária, quando se refere a produção mensal ou anual, mesmo uma pequena diferença na sua inclinação pode resultar em perdas significativas (Al Garni et al. 2018).

A instalação adequada de um PFV, através da inclinação e orientação, deve maximizar a irradiação solar recebida (Safitra et al. 2018). Os sistemas de rastreamento que seguem o curso do sol são usados para maximizar a energia solar diária recebida pelos painéis fotovoltaicos (Khan et al. 2018). No entanto, como esses dispositivos são caros e precisam de energia para seu funcionamento, é recomendável encontrar os melhores ângulos de inclinação e orientação. O ângulo de inclinação pode ser corrigido de tempos em tempos, por exemplo, sazonalmente (Benghanem, 2011) desde que a instalação permita essa correção. Geralmente, é recomendado que um sistema FV seja instalado com um ângulo de inclinação igual à latitude do local (Mondol et al., 2007; Tsalides e Thanailakis, 1985). No entanto, alguns locais experimentam um padrão de clima em que o inverno é tipicamente mais nublado que o verão ou a insolação média da manhã e da tarde não é simétrica. A energia máxima disponível pode então ser recebida por uma superfície cujo ângulo de azimute é leste ou oeste do sul (no hemisfério norte). O ângulo de inclinação ideal é, portanto, dependente do local e o cálculo desse ângulo requer dados de radiação solar para esse local específico durante todo o ano. Normalmente, durante o verão, a

insolação do incidente é maximizada para um humor de superfície A inclinação adequada de um sistema fotovoltaico (SFV) é importante porque seus painéis produzirão o máximo de energia quando o sol estiver diretamente perpendicular a eles. Durante o inverno no hemisfério norte, por exemplo, o sol está baixo em relação ao horizonte.

Varios modelos foram propostos para a determinação dos ângulos ótimos de inclinação dos PFV. Embora os modelos usem a mesma técnica de determinação do solo refletido e da radiação do feixe, eles diferem na maneira como convertem o valor do componente difuso de uma superfície horizontal para o de uma superfície inclinada (Benghanem, 2011; Duffe, 1991; Gopinathan, 1991).

Benghanem, 2011 conduziu um estudo de caso para Madinah, Arábia Saudita. Descobriu que o ângulo de inclinação ideal anual era aproximadamente o mesmo da latitude do local. Esse ângulo de inclinação fixo resultou em cerca de 8% de perda de energia coletada em comparação com a energia coletada pela inclinação do PFV mensalmente. Ulgen 2006, relataram variação sazonal do ângulo de inclinação ideal para um coletor solar em Izmir, Turquia. Para os meses de inverno, dezembro, janeiro e fevereiro, o ângulo de inclinação ideal foi de 55,7 °. Para os meses da primavera, março, abril e maio, o ângulo de inclinação ideal era de 18,3 °. Para os meses de verão, junho, julho e agosto, o ângulo de inclinação ideal era 4,3 ° e, finalmente, para os meses do outono, setembro, outubro e novembro, o ângulo de inclinação ideal era 43 °. Beringer et al. 2011 conduziu um estudo de caso experimental do ângulo de inclinação ideal de FV para Hannover, Alemanha. Eles determinaram que havia uma pequena diferença no desempenho das células FV em vários ângulos de inclinação.

Portanto, a orientação e o ângulo de inclinação de um PFV são parâmetros importantes que influenciam a saída do sistema, por isso a importância de um estudo que venha demonstrar qual deve ser a disposição dos PFV no horário de maior pico de energia solar, para assim capturar o maior nível de incidência da radiação no decorrer do ano. Como objetivo deste estudo, o conhecimento da variação da direção da incidência dos raios solares é importante de modo a orientar as instalações dos SFV na localidade do baixo tocantins-PA e assim aumentar o aproveitamento energético do sistema FV.

2 | MATERIAS E MÉTODOS

Foi desenvolvido o estudo para a cidade de Abaetetuba-PA a qual está localizada, em linha reta, a 51 km da capital do estado do Pará (Belém), conforme Figura 1, possuindo uma área territorial de aproximadamente 1.610,606 km². Para estimar os dados na superfície horizontal de Abaetetuba utilizou-se o *Software Matlab* implementando as equações descritas a seguir.



Figura 1- Localização de Abaetetuba-PA.

A terra realiza dois movimentos principais que são eles: rotação (em torno do seu eixo) e o movimento de translação (movimento da terra em torno da órbita elíptica). O ângulo de incidência do sol dependerá do horário do dia. Define-se, o ângulo horário (ω) como um desvio angular cujo valor é nulo quando o horário solar local é meio dia. Considerando que a cada hora a Terra gira 15° (equivalente a $360^\circ/24$), então o ângulo horário (dado em graus) é determinado por (Duffe, 1991):

$$\omega = (12 - T) \cdot 15^\circ \quad (1)$$

Onde T é o horário solar no local considerado (T varia entre 0 e 24 horas).

Para os objetivos propostos, é necessário o cálculo da declinação solar (δ) para definir o ângulo que o PFV deve ter no decorrer do ano, pois a inclinação do eixo terrestre influencia no ângulo de zênite (θ_z) em diferentes latitudes, considerando o dia de Equinócio/Solstícios (eventos que estabelecem o início das estações do ano em todos os hemisférios) e o meio-dia solar verdadeiro que é definido como o exato momento da culminação dos raios solares no meridiano do observador. A declinação solar em um dado dia do ano (J), é determinado por:

$$\delta = 23,45^\circ \times \text{sen} \left(\frac{360 \times (J - 80)}{365} \right) \quad (2)$$

Onde δ é o valor da declinação solar em graus, e J indica o número de ordem dos dias Julianos. Vale ressaltar que tomando-se fevereiro sempre como 28 dias, acarretando assim em 365 dias no ano. Na Tabela 2 tem-se a média de cada mês e os valores de J.

Meses	Média	Calculo de J	J
Janeiro	17	0	17
Fevereiro	16	31+d	47
Março	16	59+d	75
Abril	15	90+d	105
Mai	15	120+d	135
Junho	11	151+d	162
Julho	17	181+d	198
Agosto	16	212+d	228
Setembro	15	243+d	258
Outubro	15	273+d	288
Novembro	14	304+d	318
Dezembro	10	334+d	344

TABELA 2. Média mensal para valores de J.

A Figura 2 mostra o movimento da Terra em torno do Sol, em uma órbita elíptica cujo período orbital é de 365,256 dias. Como o eixo polar possui uma inclinação de $23,45^\circ$ em relação a normal do plano da órbita terrestre, à medida que a Terra orbita em torno do Sol, os raios solares incidem mais diretamente em um hemisfério do que no outro.

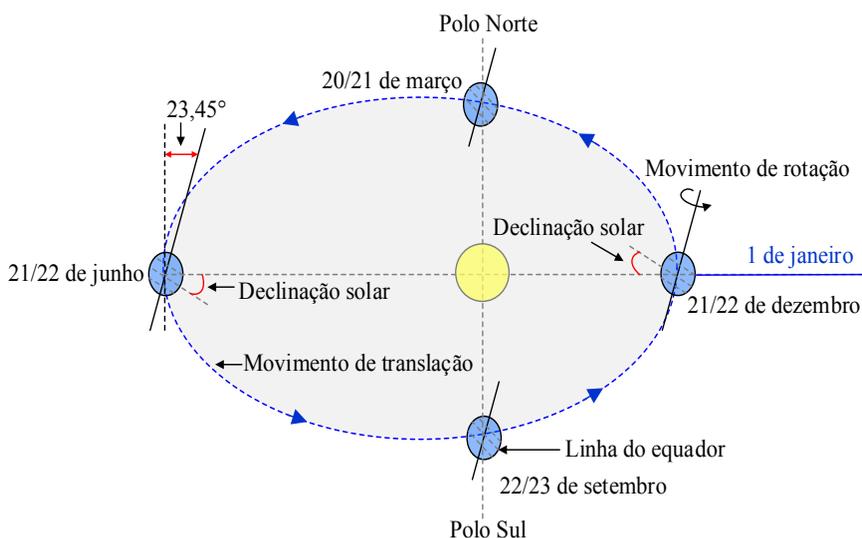


Figura 2- Órbita da Terra em torno do Sol.

Após o cálculo de δ , é calculada a altitude solar que é o ângulo entre a direção do

feixe de radiação e a projeção desta mesma direção no plano horizontal. A altitude solar e descrita por:

$$\text{sen } \alpha = \text{sen } \delta' \text{ sen } \phi + \text{cos } \delta' \text{ cos } \phi' \text{ cos } \omega \quad (3)$$

Onde α é o valor do ângulo da altitude solar, dado em graus. Por fim determinamos o ângulo do azimute (Ψ) que é ângulo, medido no plano da superfície da terra, entre a direção do pólo norte e a projeção da trajetória de incidência direta da irradiação solar na superfície terrestre. Este ângulo é positivo se medido no sentido horário a partir do pólo norte. O ângulo de azimute solar é calculado por:

$$\text{cos } \psi = \frac{-\text{sen } \alpha \times \text{sen } \phi + \text{sen } \alpha}{\text{cos } \alpha \times \text{cos } \phi} \quad (4)$$

Onde Ψ é o ângulo do azimute. O valor de θ_z pode também ser obtido a partir de ϕ subtraído de δ para o dia do ano. Na verdade, θ_z indicará o ângulo ótimo de elevação do PFV, de modo que os raios solares incidam perpendicularmente ao plano do mesmo. Assim tem-se que:

$$\theta_z = \phi - \alpha \quad (5)$$

Portanto, o ângulo θ_z é influenciado tanto pela latitude terrestre da localização geográfica, quanto pela época do ano, devido à variação da projeção da inclinação do eixo terrestre na direção do sol ao longo do ano. A Figura 3 mostra a tela do programa e a saída dos dados necessários a análise. Assim, foram gerados gráficos que demonstram qual a variação do ângulo da altitude solar versus ângulo azimutal ao longo do dia, para as cidades consideradas.

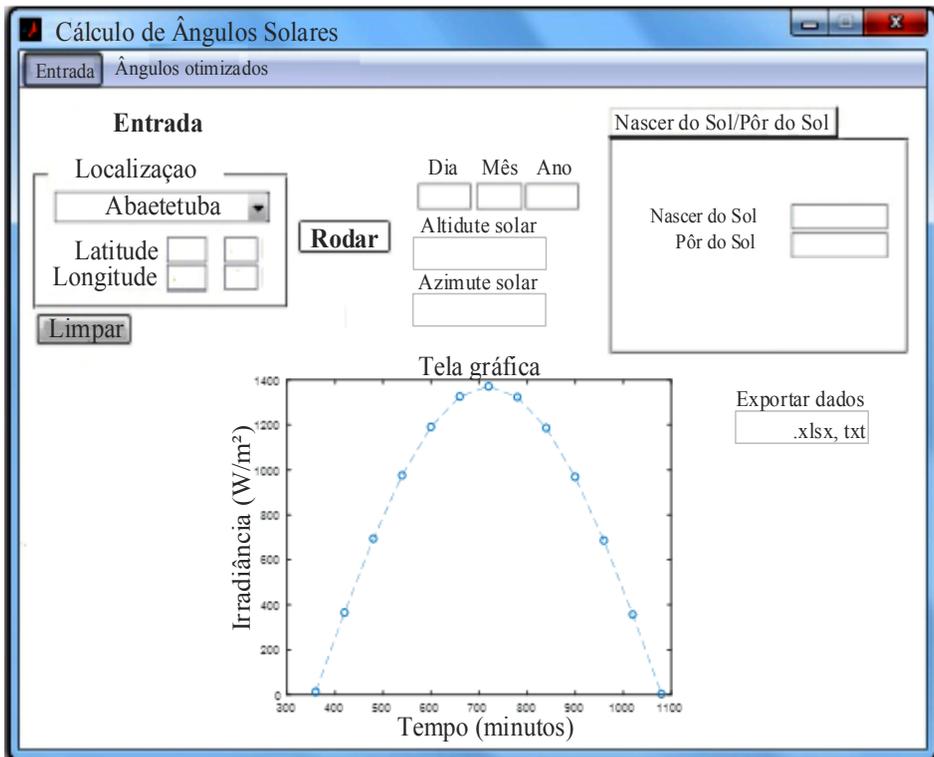


Figura 3 – Tela gráfica do programa desenvolvido e sua saída de dados.

3 | ANÁLISE DE RESULTADOS

Inicia-se com a simulação da irradiância para a média mensal (ver Tabela 2) e compara-se com dados reais medidos. Evidentemente, não incluímos o efeito da irradiância difusa já que não é o objetivo do estudo. A partir dessa análise encontra-se o ângulo da altura máxima do sol para cada média mensal e seus respectivos horários que ocorrem. Por fim, a analisa-se o ângulo de inclinação ótima de cada media mensal e sugere-se uma inclinação média anual para a cidade em estudo. A Figura 4 mostra a representação de uma carta solar para cidade de Abaetetuba para a média mensal em uma superfície voltada para o norte geografico obtida usando modelo descrito na seção tal.

Vale resaltar que os dados medidos são para a cidade de belém-PA, distante ...

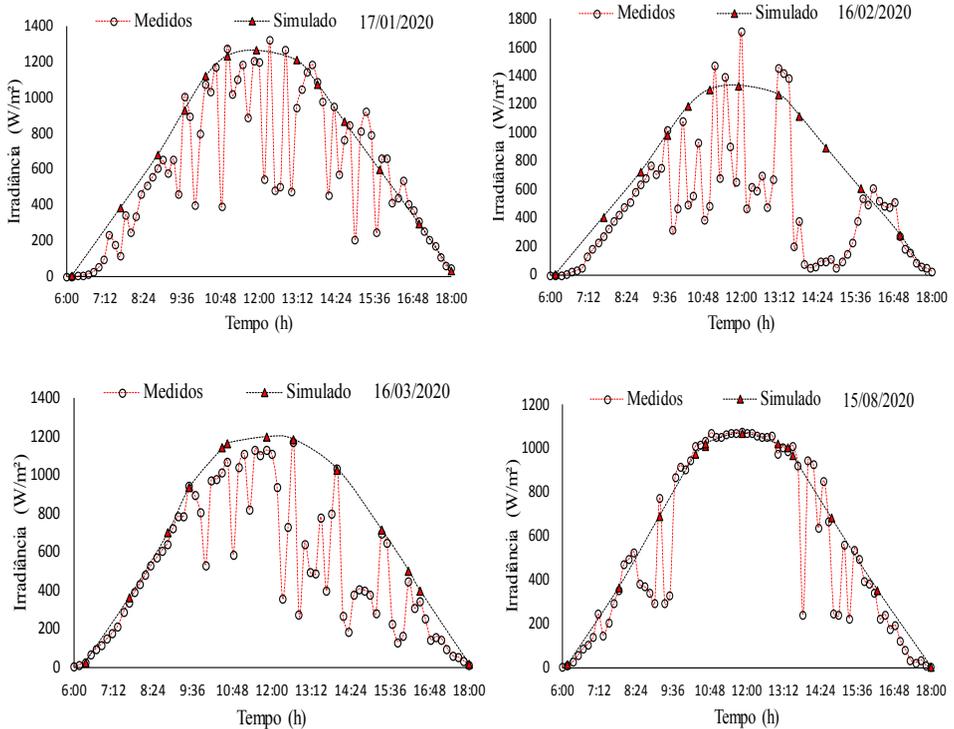


Figura 5– Comparação entre dados medidos de irradiância e simulados

A partir desses dados foi possível analisar a altura solar para cada média diária mensal. A Figura 6 mostra os resultados obtidos. Como pode-se observar o mês que mais se aproxima dos 90° é o mês de março seguido de setembro e outubro. Em contrapartida os piores meses são junho e julho.

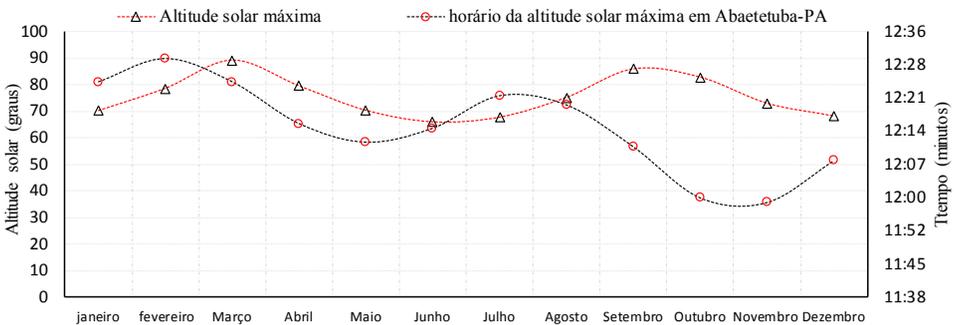


Figura 6– Representação dos ângulos ótimos para a cidade de Abaetetuba-PA

Assim um ângulo ótimo para instalações FV, na cidade de Abaetetuba-PA, de acordo com cada mês é observado na Figura 7.

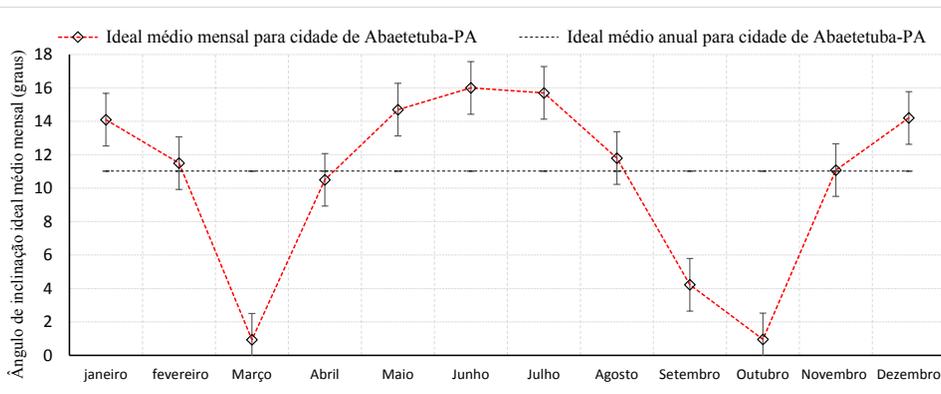


Figura 7– Ângulo de inclinação da superfície do dispositivo fotovoltaico ideal mensal, maximizando a insolação incidente.

Meses	Ângulo de inclinação da superfície		
	Mínimo (graus)	Máximo (graus)	Média (graus)
Janeiro	11,5	14,1	
Fevereiro	0,932	11,5	
Março	0,932	10,5	
Abril	10,5	14,7	10,47
Mai	10,7	16	
Junho	15,7	16	
Julho	11,8	15,7	
Agosto	4,22	11,8	
Setembro	0,95	4,22	
Outubro	0,95	11,08	
Novembro	11,08	14,2	
Dezembro	11,05	14,2	

TABLE 2. Variação do ângulo ideal para o aproveitamento máximo da energia solar em Abaetetuba-PA

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi elaborado um programa que possibilita calcular o ângulo ótimo de inclinação dos PFV e a direção de incidência dos raios solares como uma média mensal para a cidade de Abaetetuba, localizada no baixo tocantins no estado do Pará, para qualquer dia

do ano, em qualquer horário do dia, de modo que esta informação possa servir de suporte para instaladores de sistemas PFV. Foi encontrado ângulo ótimo para cada mês, bem como um ângulo ótimo para um ano (10,47°). Os parâmetros calculados a partir desses dados e que se mostraram suficientes a esta análise foram os ângulos de azimute e de altitude solar. Para validar a aplicabilidade do programa, foram extraídos dados da incidência de radiação da cidade de Belém-PA. Através de uma análise qualitativa dos resultados, podem ser aplicados tanto no planejamento da instalação de PFV. Como trabalho futuro, almeja-se estender o programa desenvolvido para calcular a variação de sombras provocadas por construções e obstáculos em um dado local, a partir de um modelo gráfico do mesmo, e assim estimar as regiões que estarão livres de sombras durante o ano inteiro e aptas para a instalação FV.

REFERÊNCIAS

Al Garni, H. Z., Awasthi, A., & Wright, D. **Optimal orientation angles for maximizing energy yield for solar PV in Saudi Arabia**. *Renewable Energy* 2018. <https://doi:10.1016/j.renene.2018.10.048>

Bairi, A. **Method of quick determination of the angle of slope and the orientation of solar collectors without a sun tracking system**. *Sol. Wind Technol.* 1990, 7, 327–330. [https://doi:10.1016/0741-983x\(90\)90104-a](https://doi:10.1016/0741-983x(90)90104-a)

Bari, S. **Optimum slope angle and orientation of solar collectors for different periods of possible utilization**. *Energy Convers. Manag.* 2000, 41, 855–860. [https://doi:10.1016/S0196-8904\(99\)00154-5](https://doi:10.1016/S0196-8904(99)00154-5)

Benghanem, M. **Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia**. *Appl. Energy* 2011, 88, 1427–1433. <https://doi:10.1016/j.apenergy.2010.10.001>

Beringer, S.; Schilke, H.; Lohse, I.; Seckmeyer, G. **Case study showing that the tilt angle of photovoltaic plants is nearly irrelevant**. *Sol. Energy* 2011, 85, 470–476. <https://doi:10.1016/j.solener.2010.12.014>

Duffe, J.; Beckman, W. **Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd ed.**; John Wiley and Sons: New York, NY, USA, 1991.

Gopinathan, K.K. **Solar radiation on variously oriented sloping surfaces**. *Sol. Energy* 1991, 47, 173–179. [https://doi:10.1016/0038-092x\(91\)90076-9](https://doi:10.1016/0038-092x(91)90076-9)

Guo, M., Zang, H., Gao, S., Chen, T., Xiao, J., Cheng, L., Sun, G. **Optimal Tilt Angle and Orientation of Photovoltaic Modules Using HS Algorithm in Different Climates of China**. *Applied Sciences* 2017, 7(10), 1028. <https://doi:10.3390/app7101028>

Jäger-Waldau, A., 2019. PV Status Report 2019, EUR 29938 EN, **Publications Office of the European Union**, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-12608-9. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC118058>

Khan, R. A., Mahmood, M. R., & Haque, A. **Enhanced energy extraction in an open loop single-axis solar tracking PV system with optimized tracker rotation about tilted axis.** Journal of Renewable and Sustainable Energy 2018, 10 (4), 045301. <https://doi:10.1063/1.4999201>

King, D. L., Boyson, W. E., & Kratochvil, J. A. **Analysis of factors influencing the annual energy production of photovoltaic systems.** Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2002., New Orleans, LA, USA, 2002, pp. 1356-1361. <https://doi:10.1109/PVSC.2002.1190861>

Lewis, G. **Optimum tilt of a solar collector.** Solar & Wind Technology. Solar & Wind Technology 1985, 17, 407–410. [https://doi:10.1016/0741-983x\(87\)90073-7](https://doi:10.1016/0741-983x(87)90073-7)

Mas'ud, A., Wirba, A., Alshammari, S., Muhammad-Sukki, F., Abdullahi, M., Albarracín, R., & Hoq, M. **Solar Energy Potentials and Benefits in the Gulf Cooperation Council Countries: A Review of Substantial Issues.** Energies 2018, 11(2), 372. <https://doi:10.3390/en11020372>

Mondol, J.D.; Yohanis, Y.G.; Norton, B. **The impact of array inclination and orientation on the performance of a grid-connected photovoltaic system.** Renew. Energy 2007, 32, 118–140. <https://doi:10.1016/j.renene.2006.05.006>

Pilakkat, D.; kanthalakshmi, S., 2019. **An improved P&O algorithm integrated with artificial bee colony for photovoltaic systems under partial shading conditions.** Solar Energy. Volume 178, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.12.008>

PVPS 2019 **Snapshot of Global PV Markets - Report IEA T1-35:2019.** IEA International Energy Agency. ISBN 978-3-906042-83-1 :2019 Snapshot of Global PV Markets, pp. 1-19. <http://www.iea pvps.org/index.php?id=363>

Safitra, A. G., Sholihah, F. H., & Fauziyyah, I. N. **Experimental study of slope angle and low E glazing effects on photovoltaic module.** IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2018, 105, 012027. <https://doi:10.1088/1755-1315/105/1/012027>

Tsalides, P., & Thanailakis, A. **Direct computation of the array optimum tilt angle in constant-tilt photovoltaic systems.** Sol. Cells 1985, 14, 83–94. [https://doi:10.1016/0379-6787\(85\)90008-0](https://doi:10.1016/0379-6787(85)90008-0)

Ulgen, K. **Optimum tilt angle for solar collectors.** Energy Sour. Part A Recovery Util. Environ. E. 2006, 28, 1171–1180. <https://doi:10.1080/00908310600584524>

SIMULAÇÃO ENERGÉTICA PARA RECUPERAÇÃO DE CALOR DO AR EM AGÊNCIAS BANCÁRIAS

Data de aceite: 01/02/2021

Alexandre Fernandes Santos

Universidade Beira Interior
Covilhã, Portugal

<https://orcid.org/0000-0001-5306-6968>

Jeová Alves Diniz Junior

Faculdade Profissional – FAPRO
Curitiba – Paraná - Brasil

Heraldo José Lopes de Souza

Faculdade Profissional – FAPRO
Curitiba - Paraná

<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

RESUMO: Este documento simulou duas situações para uma agência bancária pertencente ao segmento de atendimento a clientes exclusivos, localizada na cidade de Curitiba- PR. Inicialmente a agência apresenta-se de acordo com o projeto de climatização original, utilizando doze evaporadoras de ar condicionado VRF, duas condensadoras VRF, um conjunto Split High-Wall convencional e seis ventiladores de Injeção de ar externo com vazão total de 1.750 m³/h e posteriormente, a segunda situação foi alterada a configuração do parque de equipamentos, substituindo as duas unidades condensadoras VRF por outras de menor capacidade térmica, em virtude da substituição dos seis ventiladores por dois recuperadores de calor com vazão conjunta de 2.000 m³/h, demonstrando assim que a segunda situação é possível reduzir os custos, com o investimento na aquisição dos equipamentos de ar condicionado, com gastos

de energia elétrica e por fim proporcionando um excelente conforto térmico para clientes e funcionários da agência bancária.

PALAVRAS-CHAVE: Conforto térmico, Ar condicionado, Ventilação.

ENERGY SIMULATION FOR AIR HEAT RECOVERY IN BANKING AGENCIES

ABSTRACT: This document simulated two situations for a bank branch belonging to the exclusive customer service segment, located in the city of Curitiba-PR. Initially, the agency presents itself according to the original air conditioning project, using twelve VRF air conditioning evaporators, two VRF condensers, a conventional Split High-Wall set and six External air injection fans with a total flow of 1,750 m³/h subsequently, the second situation changed the configuration of the equipment park, replacing the two VRF condensing units with others of lower thermal capacity, due to the replacement of the six fans by two heat recovery units with a combined flow of 2,000 m³/h, thus demonstrating that the second situation is possible to reduce costs, with the investment in the purchase of air conditioning equipment, with electricity costs and finally providing excellent thermal comfort for customers and employees of the bank branch.

KEYWORDS: Thermal comfort, Air conditioning, Ventilation.

1 | INTRODUÇÃO

O conforto térmico em ambientes internos e sua importância estão estabelecidos por

intermédio de parâmetros físicos, de acordo com a NBR-16401 e conforme a recomendação da ANVISA na Resolução-RE nº 09, 16 de janeiro de 2003, visando assim à obtenção de qualidade aceitável de ar interior em sistemas de ar condicionado para conforto, definindo vazões de ar exterior para ventilação, níveis de filtragem do ar, requisitos técnicos dos sistemas e componentes relativos à qualidade do ar e requisitos de manutenção relativos à qualidade do ar.

Um dos grandes consumidores de energia são os sistemas de climatização. Por exemplo, sabe-se que em um mercado, o consumo do sistema de ar condicionado pode chegar a 40% do total consumido em energia elétrica (Branco, 2010), e em um edifício comercial, pode-se chegar a 50% (Cushman, 2010). Atualmente novas tecnologias e pesquisas estão sendo exploradas com o propósito de melhorias da eficiência energética dos sistemas de climatização, com foco no desenvolvimento de equipamentos de alto desempenho, reduções dos gastos com energia elétrica e melhoria no conforto térmico interno. Os grandes fabricantes de equipamentos de ar condicionado possuem reconhecimento no mercado por sua estabilidade, confiabilidade e economia, devido a eficiência dos novos compressores.

Sabe-se que ao conseguir diminuir significativamente o impacto do valor da temperatura do ambiente a ser refrigerado ou a temperatura do ar externo (bulbo seco), durante o percurso de ar nos dutos de ventilação até a troca térmica nos evaporadores, o sistema de climatização estará trabalhando de forma mais eficiente e menos oneroso. Este artigo teve a intenção de simular teoricamente a redução do valor da temperatura dentro dos evaporadores, por intermédio do uso de recuperadores de calor entálpicos, reduzindo assim os efeitos da carga térmica referente a renovação do ar externo.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme a resolução 09 da vigilância sanitária estabelece-se que nas condições internas de verão, a faixa recomendável de operação das temperaturas de bulbo seco deve variar entre 23°C a 26°C e nas condições de inverno, a faixa recomendável de operação das temperaturas de bulbo seco deve variar entre 20°C a 22° C. Para as umidades relativas nas condições de verão, a faixa recomendável deve operar entre 40% a 65% e nas condições de inverno, a faixa recomendável deve operar entre 35% a 65%. Para o valor máximo recomendável de operação da Velocidade do Ar, no nível de 1,5m do piso, na região de influência da distribuição do ar é de menos 0,25 m/s. A taxa de renovação do ar adequada será no mínimo, de 27 m³/hora/pessoa. Para concentração CO₂, a faixa recomendável é menor que 1000 ppm de dióxido de carbono, como indicador de renovação de ar externo, recomendado para conforto e bem-estar. Para aerodispersóides, a faixa recomendável é menor que 80 µg/m³ de aerodispersóides totais no ar, como indicador do grau de pureza do ar e limpeza do ambiente climatizado.

A norma NBR 16401- 3 2008 estabelece para uma agência bancária (nível três) 5,7 L/s por pessoa ($5,7 \times 3,6 = 20,52 \text{ m}^3/\text{h}$ pessoa) de vazão eficaz mínima de ar externo para ventilação. Em nosso estudo foi utilizado a taxa de renovação do ar externo descrito na resolução nº 09 da ANVISA de $7,5 \times 3,6 = 27\text{m}^3/\text{h}$ por pessoa.

Respeitando os parâmetros citados acima, utilizou-se um software de mercado para o cálculo da carga térmica desta agência bancária. Em primeiro momento foi considerado a situação de projeto, onde o ambiente da agência bancária é climatizado na maioria por sistemas de ar condicionado VRF, com auxílio de ventiladores de injeção de ar externo dutados e na sequência foi simulado em substituição aos ventiladores, os recuperadores de calor de injeção de ar externo e exaustão do ar interno, o qual reduziu a carga térmica referente a renovação do ar externo. Estas situações foram descritas neste estudo, nas condições nº 01 e nº 02, que foram comparadas em relação ao investimento de equipamentos de ar condicionado, custo com gasto em energia elétrica e o conforto ambiental.

2.1 Cálculos das cargas térmicas

Primeiramente segue abaixo, o projeto atual desenvolvido (Figura 01) para o sistema de climatização, para os pavimentos da agência bancária, em Curitiba - PR.

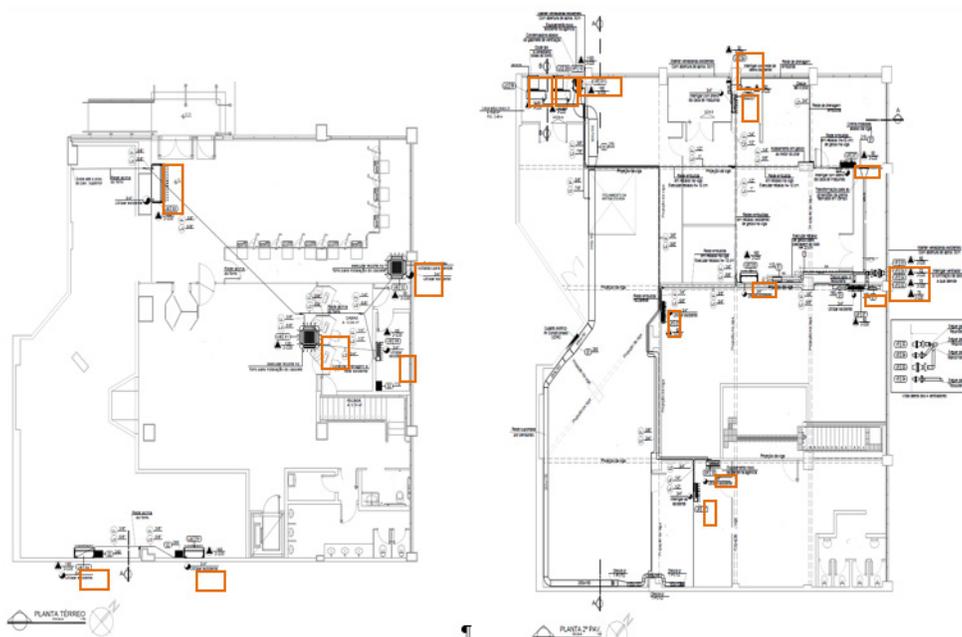


Figura 1 - Planta térrea e 1º piso da agência bancária em Curitiba-PR

Os cálculos da carga térmica foram realizados pelo Engenheiro Mecânico: Luiz Carlos

Freire Arraes – CREA-SC: 023.506-6, Através do Software: PRO-AR CONDICIONADO – 9 VERSÃO.

Seguem abaixo as referências relevantes utilizadas nos pavimentos, para o cálculo da carga térmica da agência bancária.

Projeto Banco – Térreo	Projeto Banco – 1º Pavimento
Latitude: 25° Sul. Direção Norte: 47.3° (Direção relativa ao desenho)	Latitude: 25° Sul. Direção Norte: 58.2° (Direção relativa ao desenho)
Área: 280.12 (m²)	Área: 183.75 (m²)
Temperatura: 24 (°C)	Temperatura: 24 (°C)
Entalpia: 12 (kcal/kg)	Entalpia: 12 (kcal/kg)
TBS externa (15h00min): 30.9 (°C)	TBS externa (15h00min): 32 (°C)
Entalpia externa (15h00min): 17 (kcal/kg)	Entalpia externa (15h00min): 17 (kcal/kg)
Umidade Relativa: 50 (%)	Umidade Relativa: 50 (%)
Volume Específico do Ar: 0.9 (m³/kg)	Volume Específico do Ar: 0.9 (m³/kg)
TBS Insuflamento: 12 (°C)	TBS Insuflamento: 12 (°C)
Taxa média por pessoa: 27 (m³/h) /pessoa	Taxa média por pessoa: 27 (m³/h) /pessoa
Varição Temp. (24h): 8 (°C)	Varição Temp. (24h): 8 (°C)
Varição Temp. interna/externa: 6 (°C)	Varição Temp. interna/externa: 6 (°C)

Tabela 01. Cálculos de carga térmica

Após executar o software da carga térmica, seguem abaixo os valores encontrados para a carga térmica (Tabelas 02 e 03) com pico da carga térmica na agência bancária

AMBIENTE	Carga Térmica				Vazão de Ar					ÁREA (m²)	Nº Pessoas
	Total (Btu/h)	Sensível (Btu/h)	Fator Carg.S	m² por (Btu/h)	Insuf (m³/h)	Ext. (m³/h)	TBS ins (°C)	Trocas por h	Trocas/h Ar. Ext		
Abastecimento	15.805	15.805	1,00	0,00131	1.244	0	12	25,10	0,00	20,66	0
Autoatendimento	43.419	26.857	0,62	0,00114	1.597	900	12	13,45	7,58	49,50	20
Plataforma/Caixa/Público	78.552	63.177	0,80	0,00261	4.652	561	12	9,47	1,14	204,69	33
Salão de autoatendimento	4.349	3.747	0,86	0,00121	282	27	12	22,37	2,13	5,27	1
TOTAL	14.2126	109.587	0,77	0,00197	7.777	1.488				280,12	54

Tabela 02 – Valores obtidos da carga térmica na agência bancária – Térreo

AMBIENTE	Carga Térmica				Vazão de Ar					ÁREA (m ²)	Nº Pessoas
	Total (Btu/h)	Sensível (Btu/h)	Fator Carg.S	m ² por (Btu/h)	Insuf (m ³ /h)	Ext. (m ³ /h)	TBS ins (°C)	Trocas por h	Trocas/h Ar. Ext		
Arquivo/ Suporte/ Circulação	18.936	16.681	0,88	0,00343	1.241	108	12	8,11	0,71	64,91	4
Sala online	6.734	7015	1,04	0,00175	552	0	12	19,87	0,00	11,78	0
Sala de Reunião	15.268	10.757	0,70	0,00107	703	216	12	18,31	5,63	16,27	8
Telefonista	4.072	3.047	0,75	0,00110	204	54	12	19,25	5,10	4,49	2
Atendimento/ Hall Público	33.354	26.847	0,80	0,00259	1.898	323	12	9,32	1,59	86,30	19
TOTAL	78.366	64.349	0,82	0,00234	4.600	701				183,75	33

Tabela 03 - Valores obtidos da carga térmica na agência bancária - 1º Pavimento

Conclui-se que o pico da carga térmica na agência ocorre as 15h00 min, logo se chegou aos seguintes valores: 109.258,09 BTU/h (térreo) e 59.795,98 BTU/h (1º pavimento); Q Total = 169.054,07 BTU/h (14,09 TR).

Para o cálculo da parcela referente carga térmica do ar externo relativo a carga térmica total de 14,09 TR foi escolhido inicialmente dois parâmetros. Neste caso, as temperaturas de bulbo seco e as entalpias do ar externo, conforme a NBR 16.401-1 2008 e os dados técnicos das condições internas dos ambientes utilizados como referência no cálculo da carga térmica.

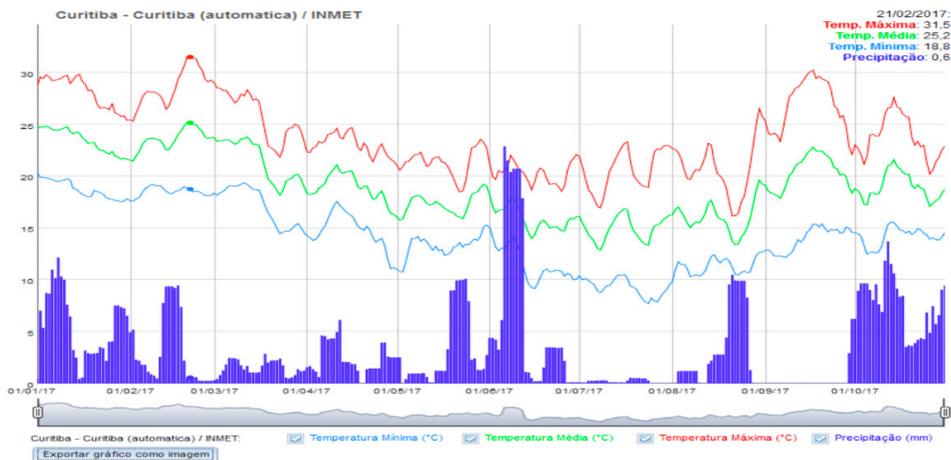


Gráfico 01- Variação TBS Curitiba-PR. Período janeiro a outubro de 2017 (Agritempo, 2017).

Ponto 01 - Dados Ar Externo TBS externa: 32°C (TBS externa crítica, Curitiba-PR= 30,9°C); Entalpia externa = 17 kcal/kg;	Ponto 02 – Dados Ar interno TBS ambiente: 24°C; Entalpia ambiente: 13 kcal/kg;
--	--

Posteriormente utilizou-se um aplicativo e assim determinou-se a parcela referente carga térmica do ar externo (AE), ligando o ponto 01 ao 02, conforme figura abaixo, gerando 9.736 kW (4.195 kW- calor sensível e 5.541 kW- ca-lor latente). Transformando, 9.736 kW x 0.28434517 (conversão), então AE= 2,77 TR.

2.2 Análise da situação: condição nº 01

A primeira condição de análise refere-se a seguinte configuração do sistema de climatização abaixo:

Quantidade	Equipamentos de climatização	Capacidade (kW)
01	Unidade evaporadora <i>High Wall</i> - VRF	2,8
01	Unidade evaporadora Cassete - VRF	5,6
01	Unidade evaporadora Cassete - VRF	7,0
02	Unidade evaporadora Piso Teto - VRF	16,80
01	Unidade evaporadora Piso Teto - VRF	14,00

Tabela 04. Cadastro de equipamento.

O valor de investimento para aquisição e instalação dos equipamentos de climatização acima é aproximadamente R\$ 39.000,00. Equipamentos do térreo, consomem em média 0,45 kW.

Quantidade	Equipamentos de climatização	Capacidade (kW)
01	Unidade evaporadora <i>High Wall</i> - VRF	2,8
01	Conjunto Split <i>High Wall</i> convencional	3,5
01	Unidade evaporadora Piso Teto - VRF	5,6
04	Unidade evaporadora <i>High Wall</i> -VRF	16,80
01	Unidade condensadora <i>Front Flow</i> - VRF 10 HP	28,00
01	Unidade condensadora <i>Front Flow</i> - VRF 12 HP	33,50

Tabela 05. Cadastro de equipamento.

Quantidade	Ventiladores de injeção de ar externo	Vazão de ar (m³/h)
01	Ventilador	1100
01	Ventilador	215
01	Ventilador	325
03	Ventiladores	110

Tabela 06. Cadastro de equipamento

O valor de investimento para aquisição e instalação dos equipamentos de climatização acima é aproximadamente R\$ 92.000,00.

Equipamentos do primeiro pavimento, consomem em média 23,55 kW.

Então para condição do pico da carga térmica, tem:

- Capacidade frigorífica (Q_{Total}) = 14,09 TR, logo: $Q_{interna} + A.E = 11,32 + 2,77 = 14,09$ TR;
- Capacidade térmica dos compressores do sistema: 61,50 kW (17,50 TR);
- Consumo de energia: 24 kW;
- Valor médio investimento em equipamentos: R\$ 131.000,00;
- Gasto mensal com energia elétrica:

Período 2017	Potência (kW)	Fator Utilizado	Horas/dia	Dias médio/mês	Tarifa de cobrança 1 kW/h (subgrupo B3)	Valor mensal médio em R\$
Janeiro a outubro	24	0,7	10	20	0,69	2.318,40

Tabela 07. Gasto mensal com energia elétrica condição nº 01

2.3 Análise da situação: condição nº 02

A Segunda condição de análise refere-se a seguinte configuração alterada do sistema de climatização abaixo.

No térreo: Mesma configuração descrita na condição nº 01, no primeiro pavimento:

Quantidade	Equipamentos de climatização	Capacidade (kW)
01	Unidade evaporadora <i>High Wall</i> - VRF	2,8
01	Conjunto Split <i>High Wall</i> convencional	3,5
01	Unidade evaporadora Piso Teto - VRF	5,6
04	Unidade evaporadora <i>High Wall</i> - VRF	16,80
01	Unidade condensadora <i>Front Flow</i> - VRF 8 HP (em substituição a Unidade condensadora <i>Front Flow</i> - VRF 10 HP)	22,40
01	Unidade condensadora <i>Front Flow</i> - VRF 10 HP (em substituição a Unidade condensadora <i>Front Flow</i> - VRF 12 HP)	28

Tabela 08. Cadastro de equipamento.

Quantidade	Recuperadores de calor	Vazão de ar (m³/h)
02	Recuperadores de calor entálpicos (em substituição aos ventiladores de injeção de ar externo)	2200

Tabela 09. Cadastro de equipamento

O valor de investimento para aquisição e instalação dos equipamentos de climatização acima é aproximadamente R\$ 100.000,00.

Equipamentos do primeiro pavimento, consumindo 15,86 kW.

Com a utilização dos dois recuperadores de calor em nossa condição nº 02, onde o processo de operação deste dispositivo utiliza-se por intermédio da diferença de energia entre a massa de ar que entra vinda do exterior e a massa de ar interna que será exaurida, a fim de manter o equilíbrio da pressão interna, possibilitou a substituição duas unidades condensadoras descritas na condição nº 01, por outras duas de menor capacidade térmica. Premissas de Cálculo Carga Térmica.

- Condições Externas: Temperatura de Bulbo Seco = 32,0°C Temperatura de Bulbo Úmido = 22,1°C Entalpia = 17 kcal/kg	- Condições Internas Temperatura de Bulbo Seco = 24,0°C Temperatura de Bulbo Úmido = 16,8°C Entalpia = 12 kcal/kg
--	---

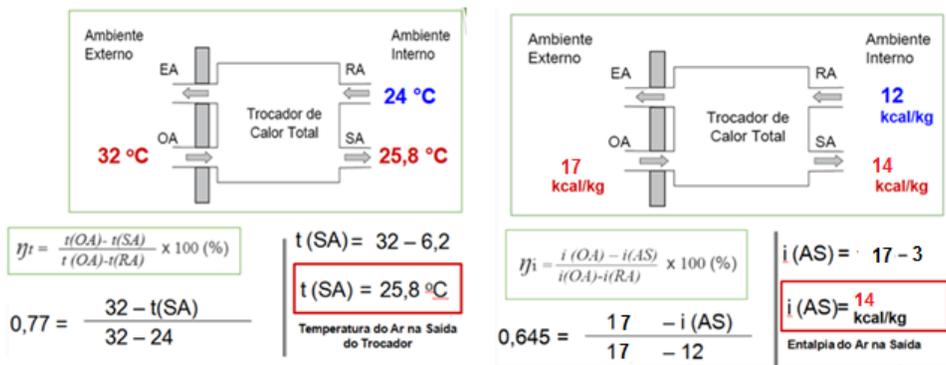


Figura 02- Cálculo da T (°C) na saída do trocador e cálculo da entalpia na saída do trocador

Assim os recuperadores de calor terão variação na sua capacidade de retirar calor do ar, conforme as condições de temperatura e umidade do projeto da agência.

Utilizando a vazão ar externo descrito no projeto em 1.750 m³/h, calculou-se essa variação para os dois equipamentos:

$$Q_{Tv} = \text{Vazão ar} \times 1,18 \times (i_{OAE} - i_{OAS}).$$

$$Q_{Tv} = 1750 \text{ m}^3/\text{h} \times 1,18 \times (17 - 14).$$

$$Q_{Tv} = 6.195 \text{ kcal/h (0,51 TR)}.$$

Em seguida, calculou-se a quantidade de calor retirado pelos recuperadores de calor, sabendo-se que a parcela referente carga térmica do ar externo (AE) é de 2,77 TR, então:

$$Q_T \text{ retirado} = 2,77 - 0,51 = 2,26 \text{ TR (aproveitamento dos recuperadores)}.$$

$$\text{Ar Externo condição n}^\circ 02 \text{ (AE2)} = 2,77 \text{ TR} - 2,26 \text{ TR} = 0,51 \text{ TR}.$$

Então para condição do pico da carga térmica na condição n° 02, se tem:

- Capacidade frigorífica (Q Total) = 14,09 - 2,26 = 11,83 TR., logo: Q interna + AE2 = 11,32 TR + 0,51 TR = 11,83 TR.
- Capacidade térmica dos compressores do sistema: 50,40 kW (14,34 TR). Compressores com melhor COP em relação a situação n° 01;
- Consumo de energia: 16,31 kW;
- Valor investimento em equipamentos: R\$ 139.000,00;
- Gasto mensal com energia elétrica.

Período 2017	Potência (kw)	Fator Utilizado	Horas/dia	Dias médio/mês	Tarifa de cobrança 1 kW/h (subgrupo B3)	Valor mensal médio em R\$
Janeiro a outubro	16,31	0,7	10	20	0,69	1.575,55

Tabela 10. Gasto mensal com energia elétrica condição nº 02

3 I COMPARATIVO DOS SISTEMAS NA PIOR CONDIÇÃO EXTERNA

Para as seguintes condições psicrométricas abaixo, as mesmas referem-se a pior condição de operação em relação aos dados do ar externo:

- Ar Retorno - TBS= 24 °C; TBU= 16,8 °C.
- Ar Externo - TBS= 32 °C; TBU= 22,1 °C.

No projeto utilizou-se fator de segurança, quando usou-se TBS= 32 °C, ao invés de TBS= 30,9 °C, (conforme tabela de dados NBR 16401-1 2008).

PR	Curitiba		Latitude	Longit.	Altitude	Pr.atm	Período	Extrem. anuais	TBU	TBSmx	s	TBSmn	s	
			25,52S	49,17W	908m	90,88	82/01		27,4	32,9	1,0	-1,4	2,0	
Mês>Qt	Freq. anual	Resfriamento e desumidificação				Baixa umidade			Mês>Fr	Freq. anual	Aquec.	Umidificação		
Jan		TBS	TBUc	TBU	TBSc	TPO	w	TBSc	Jul		TBS	TPO	w	TBSc
	0,4%	30,9	20,2	23,2	26,8	22,2	18,9	24,3		99,6%	2,4	-1,2	3,8	6,7
ΔTmd	1%	29,8	20,2	22,6	26,2	21,7	18,3	23,9		99%	4,8	1,7	4,8	9,3
9,5	2%	28,7	20,2	22,0	25,6	21,1	17,6	23,2						

Tabela 11 - Tabela dados climáticos da cidade de Curitiba-PR

Segue abaixo (Tabela 12) com o comparativo entre os dois sistemas mencionados para a vazão de 1750 m³/h.

Tratamento do ar externo (condições)□	(2ª condição)□	(1ª condição)□
Q_{interna} (TR)□	11,32□	11,32□
Carga térmica parcela ar externo (TR)□	2,77□	2,77□
Calor retirado com tratamento do ar externo (TR)	2,26□	0,00□
Varição do calor a ser retirado com tratamento do ar externo (TR)□	0,51□	2,77□
Q_{Total} (TR)□	14,09□	14,09□
Consumo de energia equipamentos ¶ ar condicionado (kW)□	15,41□	23,62□
Consumo de energia dos equipamentos para tratamento o ar externo (kW)□	0,90□	0,38□
Total de consumo (kW)□	16,31□	24,00□
Operação (h/ano)□	1.680□	1.680□
Potência consumida (kW)□	27.405,84□	40.314,96□
Custo operacional anual ¶ (tarifa Copel B3 0,69 R\$/kW)□	18.910,03□	27.817,32□
Custo operacional médio/mês (R\$)□	1.575,55□	2.318,40□

Tabela 12 - Tabela comparativa entre as condições

Tarifa Convencional COPEL Curitiba-Paraná– sub grupo B3n valor R\$ 0,44056 (resolução ANEEL) e R\$ 0,69118 (com imposto)

4 | RESULTADOS OBTIDOS

Para o sistema de climatização descrito na condição nº 01 obteve-se um custo médio de implementação de R\$ 132.872,40, enquanto na condição nº 02 com uso de recuperadores em relação aos ventiladores obteve-se um custo de R\$ 140.575,55.

Apresentando uma diferença de R\$ 7.703,15 entre as duas condições (Tabela 13). Essa diferença torna-se viável, quando observamos adiante o payback.

Custo (R\$)	Condição nº 01	Condição nº 02
Fornecimento e instalação dos equipamentos ar condicionado	R\$ 128.000,00	R\$ 124.000,00
Fornecimento e instalação dos equipamentos para tratamento do ar externo	R\$ 2.554,00	R\$ 15.000,00
Gasto médio mensal com energia elétrica	R\$ 2.318,40	R\$ 1.575,55
Total	R\$ 132.872,40	R\$ 140.575,55

Tabela 13 - Tabela investimento comparativo entre situações

Analisando a tabela do fluxo de caixa- Payback (Tabela 14) referente a diferença existente entre o custo anual entre as duas condições verificou-se que ao final do décimo mês, o sistema com uso de recuperadores estará pago e a agência bancária ficará a partir de então, só com economia.

PAYBACK	Meses (fluxo de caixa)	Diferença do valor para retono do investimento (RS)	Gasto médio mensal (energia elétrica condição n° 01)	Gasto médio mensal (energia elétrica condição n° 02)	Diferença mensal do gasto com energia elétrica
	1 MÊS	RS 6.960,30	2.318,40	1.575,55	742,85
	2 MÊS	RS 6.217,45	2.318,40	1.575,55	742,85
	3 MÊS	RS 5.474,60	2.318,40	1.575,55	742,85
	4 MÊS	RS 4.731,75	2.318,40	1.575,55	742,85
	5 MÊS	RS 3.988,90	2.318,40	1.575,55	742,85
	6 MÊS	RS 3.246,05	2.318,40	1.575,55	742,85
	7 MÊS	RS 2.503,20	2.318,40	1.575,55	742,85
	8 MÊS	RS 1.760,35	2.318,40	1.575,55	742,85
	9 MÊS	RS 1.017,50	2.318,40	1.575,55	742,85
	10 MÊS	RS 274,65	2.318,40	1.575,55	742,85
	11 MÊS	-RS 468,20	2.318,40	1.575,55	742,85

Tabela 14 - Tabela fluxo de caixa Payback.

Com relação ao custo verificou-se que o sistema de ar condicionado utilizando os dois recuperadores de calor é totalmente viável, pois apresenta-se um payback curto de 10 meses (ao final do mês).

Um outro ponto a ser comparado entre os sistemas, descritos nas duas condições refere-se a renovação do ar dentro do ambiente da agência bancária. Na condição n° 01, os ventiladores utilizados apenas tentam injetar o ar exterior para dentro do ambiente, havendo a necessidade de renovação do ar proporcional ao número de pessoas que entram no local pela porta giratória da agência bancária. As normas atuais, não referenciam valores de renovação por pessoas/hora em m³ para portas giratórias. Na ausência de normativa vigente, resgatou-se a normativa NBR-6401 Dez 1980, onde a mesma menciona o valor de 11 m³/h de ar por pessoa que entra no banco pela porta giratória. Para o valor de injeção dos seis ventiladores em 1.750 m³/h seria necessário um fluxo médio de 159 pessoas por horas. Diante deste cenário, entendemos que o fluxo de pessoas será em média, bem abaixo do valor necessário a renovação do ar. Com a não renovação eficiente do ar no ambiente interno da agência bancária, dessa forma ocorrerá aumento da pressão do ar e do índice de monóxido de carbono; diminuição da umidade relativa do ar, elevando o cansaço e a fadiga aos clientes e funcionários, contribuindo assim negativamente a um conforto ambiental.

B) Pelas portas		
Local	m³/h por pessoa	
	Porta giratória (1,80 m)	Porta de vai-e-vem (0,90 m)
Bancos	11	14
Barbearias	7	9
Drogarias e Farmácias	10	12
Escritórios de corretagem	9	9
Escritórios privados	-	4
Escritórios em geral	-	7
Lojas em geral	12	14
Restaurantes	3	4
Lanchonetes	7	9

C) Pelas portas abertas		
Porta até 90 cm	-	1 350m³/h
Porta de 90 cm até 180 cm	-	2 000 m³/h

Tabela 15 - Tabela infiltração de ar

Na condição nº 02, entende-se que os dois recuperadores de calor propostos, onde cada um deles apresentam dois ventiladores: um injetando e outro realizando a exaustão do ar, ou seja, independentemente da quantidade de fluxo de clientes na agência bancária pela porta giratória, o sistema deverá manter a renovação de ar em torno dos 1.750 m³/h necessários, mantendo assim os índices de monóxido de carbono abaixo em comparação com a condição anterior, balanceando a umidade relativa do ar no interior da agência e, portanto não gerando cansaço e fadiga a clientes e funcionários, contribuindo desta forma para um conforto ambiental adequado.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi considerado no estudo os seguintes parâmetros de qualidade do ar interno e dados para o conforto térmico em ambientes, conforme mencionado na RE 09 da ANVISA, NBR16401-1 2008, NBR16401-3 2008 e a antiga NBR6401 1980, no entanto existem outros autores e fontes de referência sobre o determinado assunto.

Nesta análise, utilizou-se para os recuperadores de calor, valores de temperaturas de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido e entalpias do ar externo e de retorno, com base condições psicométricas na pior condição do ar externo e dados do Software PRO-AR CONDICIONADO – 9 VERSÃO e o aplicativo da LATS-Psy.

Conforme consulta ao fornecedor do recuperador de calor, os dois equipamentos nas condições analisada em nosso projeto, apresentam um custo de fornecimento e instalação estimado em R\$ 15.000,00, onde esse investimento é recuperado em aproximadamente 10 meses, principalmente através da redução com gasto em energia elétrica anual em média de 32,04 %, com melhor COP das unidades condensadoras (situação nº 02).

Sugiro para trabalhos futuros seja realizado um experimento prático para analisar

os resultados obtidos dos benefícios com o uso de recuperadores de calor em instituição bancárias, pois neste estudo não levou-se em consideração possíveis problemas referente às instalações, alterações e/ou ajustes nos equipamentos de climatização, dutos de ventilação, tubulações frigorígenas, sistema elétrico da agência, infiltração de ar e problemas estruturais do prédio, dentre outros fatores desconhecidos e possíveis de ocorrer.

REFERÊNCIAS

Agritempo, 2018. **Sistema de monitoramento agro meteorológico**. Disponível em: www.agritempo.gov.br. Acessado em 05/03/2018.

ANVISA, 2018. **Resolução - RE nº 9**. Disponível em: www.portal.anvisa.gov.br. Acessado em 23/02/2018.

Berlinerluft, 2018. **Dados técnicos caixas de ventilação**. Disponível em: www.berlinerluft.com.br. Acessado em 05/03/2018.

BRANCO, N.N, 2018. **Avaliação de índices de consumo de energia para supermercados**. TCC – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Mecânica, São Paulo. Disponível em: www.sites.poli.usp.br. Acessado em 23/02/2018.

Caramuru, 2018. **NBR 16401-3 2008**. Disponível em: www.caramuru.com.br. Acessado em 05/03/2018.

Casa do ar, 2018. **Dados técnicos linha equipamentos**. Disponível em www.casadoar.com/download/splits/hitachi/VRF.pdf. Acessado em 05/03/2018.

COPEL, 2018. **Tarifa convencional - subgrupo B3**. Disponível em: www.copel.com. Acessado em 05/03/2018.

CUSHMAN & WAKEFIELD, 2018. **O ar condicionado de alto desempenho em edifícios comerciais. II seminário de sustentabilidade e facilites 2010**. Disponível em: www.cbcs.org.br. Acessado em 27/02/2018.

DEMEC, 2018. **NBR 16401-1 2008**. Disponível em: <ftp://demec.ufpr.br>. Acessado em 05/03/2018.

Jci-Hitachi, 2018. **Dados técnicos linha equipamentos VRF - Hitachi**. Disponível em: www.jci-hitachi.com.br. Acessado em 05/03/2018.

Jci-Hitachi, 2018. **Dados técnicos equipamento recuperador de calor –Hitachi**. Disponível em: www.jci-hitachi.com.br. Acessado em 05/03/2018.

Slidershare, 2018. **Dados técnicos equipamento convencional - Carrier**. Disponível em: pt.slideshare.net/agassisrodrigues/cc-chwch0511view-carrierhiwall. Acessado em 05/03/2018.

Refrigeração, 2018. **NBR 6401/1980**. Disponível em: www.refrigeracao.net. Acessado em 05/03/2018.

OHIO, 2018. **Carta psicométrica - conforto térmico**. Disponível em: www.ohio.edu/mechanical/thermo/. Acessado em 05/03/2018.

USO DO SISTEMA DX (EXPANSÃO DIRETA) PARA SISTEMAS GEOTÉRMICOS EM CURITIBA

Data de aceite: 01/02/2021

Alexandre Fernandes Santos

Universidade Beira Interior
Covilhã, Portugal
<https://orcid.org/0000-0001-5306-6968>

Paulo Henrique Colombo

Engenheiro Industrial Mecânico graduado na
UTFPR
Curitiba, Paraná, Brasil

Heraldo José Lopes de Souza

Faculdade Profissional – FAPRO
Curitiba - Paraná
<https://orcid.org/0000-0002-8471-7804>

Fabio Francisco Ferreira

Faculdade Profissional – FAPRO
Curitiba - Paraná

RESUMO: O projeto tem como finalidade aquecer a água de um reservatório utilizando a geotermia para tornar mais econômico. A configuração do trocador de calor foi Expansão Direta (DX) e sistema helicoidal. Essa escolha foi determinada por se ter um espaço reduzido para instalação do Ground Source e pela simplificação dos materiais necessários para funcionamento. Essa Expansão Direta garantiu que a troca térmica com o solo seria maior possível, pois o trocador de calor é de cobre que possui boa condutividade térmica. Outra característica desse sistema é que uma bomba para movimentar o fluido se torna desnecessário pois essa função

é desempenhada pelo compressor. Com os resultados das temperaturas iniciais e finais, junto com a quantidade de água e o intervalo de tempo, definiu-se a perda de energia no reservatório de água. O COP médio alcançado, chegou no valor de 3,16 W/W, que representa 93,5% do valor de catálogo do compressor.

PALAVRAS-CHAVE: Bomba de calor. Ground Source. Trocador de calor.

USE OF THE DX SYSTEM (DIRECT EXPANSION) FOR GEOTHERMAL SYSTEMS IN CURITIBA

ABSTRACT: The project aims to heat the water of a reservoir using geothermal to make it more economical. The configuration of the heat exchanger was Direct Expansion (DX) and helical system. This choice was determined by having a reduced space for installing the Ground Source and simplifying the materials needed for operation. This Direct Expansion ensured that the thermal exchange with the soil would be greater because the heat exchanger is copper with good thermal conductivity. Another feature of this system is that a pump to move the fluid becomes unnecessary because the compressor performs this function. With the results of the initial and final temperatures, together with the amount of water and the time interval, the loss of energy in the water reservoir was defined. The average COP reached, reached 3.16 W/W, which represents 93.5% of the compressor's catalog value.

KEYWORDS: Heat pump. Ground Source. Heat exchanger.

1 | INTRODUÇÃO

O aquecimento de água é importante para as mais diversas finalidades e esse aquecimento costuma gerar grandes gastos energéticos. Gastos estes que podem ser reduzidos com a utilização do Ground Source, onde utiliza o subsolo como permutador de calor, assim o subsolo pode absorver ou ceder temperatura para o sistema de climatização de acordo com a finalidade do projeto instalado, o consumo dessa água quente no nosso dia-a-dia é muito significativo e para que se torne mais acessível financeiramente incorporado ao processo de aquecimento a tecnologia do Ground Source.

A água aquecida pode ser utilizada nos banheiros, nas piscinas, nas lavanderias e nas cozinhas, bem como é utilizada a água quente em determinadas etapas industriais, laboratórios, hospitais, hotéis e para tantas outras finalidades. No aquecimento de água que será estudado e implementado um sistema que consiste em retirar calor do solo para aquecer a água do reservatório até a temperatura de 45°C, com a finalidade tanto domésticos, industriais e outros. A ideia do trabalho é apresentar os dados em campo de aplicação de bombas de calor a partir do Ground Source para as condições da cidade de Curitiba, numa profundidade de 2,1 metros abaixo do nível da superfície.

A figura 1 abaixo representa o sistema de aquecimento no qual o fluido refrigerante que circula dentro do compressor também circula no evaporador instalado diretamente no subsolo (representado pela tubulação azul) e circula por dentro do condensador instalado reservatório de água (representado pelo boiler branco).

A este sistema de Ground Source cujo o próprio fluido refrigerante intercambia calor com a terra, é chamado de Direct Expansion ou simplesmente DX. A outra forma de Ground Source é a indireta no qual é necessário ter mais duas tubulações de água onde uma dessas tubulações faz a troca térmica com o solo e a outra tubulação faz troca térmica com o reservatório, e ambas as tubulações de água fazem troca térmica com o fluido refrigerante do compressor através de trocadores de calor.

A implementação do Direct Expansion Ground Source (GSDX) está representada na foto 1.

Essa tecnologia de Ground Source (DX) é utilizado em países desenvolvidos a mais de 50 anos, mas nacionalizar toda a técnica mostrou-se um desafio. Foi necessário adaptar o sistema para a características de solos e climáticas brasileira (especificamente de Curitiba).

Os equipamentos empregados no protótipo, são todos nacionais o qual necessitou remodelamento do sistema. Esse remodelamento também foi necessário devido as características dos equipamentos nacionais disponíveis para a movimentação do solo.

Com essa tecnologia Ground Source (DX) é possível obter alto rendimento no aquecimento de água em todas as estações do ano, pois o sistema não é dependente da temperatura do ar o qual prejudica o rendimento de bombas de calor tradicionais que tem o

rendimento reduzido ao trocar a temperatura do evaporador com o ar frio do inverno.

No decorrer do trabalho serão apresentados os resultados obtidos das experiências Ground Source, com intuito de obter COP superior as tecnologias tradicionais existentes, e onde serão demonstrados gráficos de COP com relação tempo/temperaturas (Geotérmicas, Evaporação e Condensação).

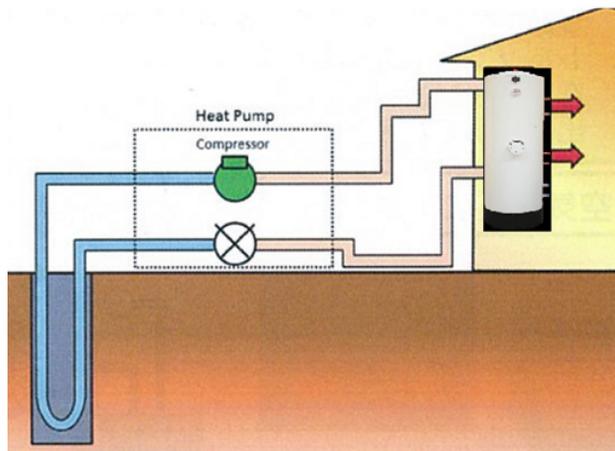


Figura 1 – Esquema Ground Source (DX).



Foto 1 – Implementação do Ground Source (DX)

2 | PROTÓTIPO

O protótipo foi montado tendo como finalidade aquecer a água de um reservatório

utilizando a geotermia para tornar econômico. A configuração do trocador de calor foi Expansão Direta (DX) e sistema helicoidal. Essa escolha foi determinada por se ter um espaço reduzido para instalação do Ground Source e pela simplificação dos materiais necessários para funcionamento.

Essa Expansão Direta garantiu que a troca térmica com o solo seria maior possível, pois o trocador de calor é de cobre que possui boa condutividade térmica. Outra característica desse sistema é que uma bomba para movimentar o fluido se torna desnecessário pois essa função é desempenhada pelo compressor.

O sistema Helicoidal adotado garantiu uma boa troca térmica em perfurações rasas com custos e tempo de instalação reduzidos.



Foto 2 – Primeiros passos da montagem do protótipo.

Na foto acima é possível ver os alguns dos materiais da montagem do protótipo. Usando um perfurador a gasolina, foto foi possível fazer as perfurações de 2,10 metros de profundidade por 20 centímetros de diâmetro.

O reservatório de água é uma caixa d'água da Tigre de 310 Litros. Foi utilizado uma válvula de expansão Danfoss TEN2 R134a com orifício de 1.

Para preenchimento das perfurações foi utilizado Areia com 99% de SiO_2 (Dióxido de Silício) onde se obtém condutividade elétrica 2,82 W/mK contra 0,7 W/mK do solo.

A utilização da areia tem a função de conduzir a temperatura do evaporador mais rapidamente para solo e assim melhorar a troca térmica do Ground Source.

Para melhorar a compactação da areia e assim garantir a melhor troca térmica, a areia foi colocada nas perfurações com adição simultânea de água.



Foto 3 – Linhas

A linha de sucção foi isolada termicamente para garantir que a temperatura obtida pelo refrigerante na troca térmica com o subsolo não sofresse influência da temperatura ambiente. Já a linha de líquido não foi isolada para trocar a temperatura extremamente baixa do refrigerante com o solo.

Para garantir fluxo igual em todas as ramificações dos evaporadores o circuito do refrigerante foi montado de tal forma que a ramificação que tem a menor distância para receber o refrigerante tem a maior distância para retornar o refrigerante e vice versa.

Os evaporadores foram concebidos para ter a maioria da troca térmica na profundidade maior, conforme pode ser visto abaixo.



Foto 4 – Trocador de calor do evaporador



Foto 5 - Perfuração

Para proteger a tubulação de cobre do ambiente corrosivo que é o solo foi utilizado proteção catódica. Ela é uma técnica para proteção contra corrosão de instalações metálicas enterradas ou submersas. Essa proteção faz com que uma diferença de potencial se estabeleça entre o material que se deseja proteger e o material que será usado para sacrifício. Também é utilizada para proteção de ferragens de reforço de estruturas de concreto (IEC engenharia, 2020).

A diferença de potencial faz com que apenas o material de sacrifício seja corroído sendo chamado anodo de sacrifício, e esse deverá ser trocado periodicamente. O evaporador de cobre que é o material a ser protegido se torna o catodo. A circulação de corrente modifica o potencial do aço em relação ao eletrólito, eliminando a corrosão.

Existem dois métodos para a aplicação dos sistemas de proteção catódica.

1. Sistema galvânico, que utiliza anodos galvânicos ou de sacrifício de ligas especiais de Magnésio, Zinco ou Alumínio.
2. Sistema por corrente impressa.

Esse sistema utiliza uma fonte externa de corrente (retificadores de proteção catódica) e anodos inertes especiais.

Os anodos mais utilizados são os de Ferro, Silício, Cromo e os de Titânio.

Os sistemas por corrente impressa são muito utilizados para a proteção de instalações submersas, obras de concreto e grandes tubulações enterradas.

A escolha de um sistema ou outro depende de vários fatores técnicos e econômico.

O anodo de sacrifício utilizado neste estudo, foi a Barra de Magnésio.



Foto 6 – Barra de Magnésio

3 | MEDIÇÕES

Para facilitar as medições foi instalado dois termômetros na mesma perfuração do solo, para a instalação dos tubos dos evaporadores. Um destes termômetros, está a 20cm de profundidade (Solo humus ou orgânico), onde irá medir a temperatura próxima da externa e o outro a 2,10 metros de profundidade (Solo superior), temperatura do subsolo. A vantagem que a esta profundidade não tem influência direta do clima.

Também foi instalado outro par de termômetros nas mesmas profundidades do primeiro par, porém a 1 metro de distância do centro desse evaporador. Assim é possível acompanhar a influência do evaporador no solo ao redor.

O equipamento de medição utilizado, é portátil que monitora e indica em 5 pontos distintos, chamado Penta III da Full Gauge. Os sensores deste equipamento foram responsáveis na medição da Temperatura da água no reservatório, Temperatura de sucção, Temperatura de descarga, Temperatura na linha de líquido e Temperatura ambiente.

Também foi utilizado um amperímetro para acompanhar as medições de corrente fornecida ao compressor.

As temperaturas de Condensação e Evaporação foram fornecidas no display do Manifold Digital.

Para o cálculo da eficiência do sistema foi considerado também as perdas devido ao baixo grau de isolamento do reservatório de água.

Para o cálculo dessa perda foi desligado a bomba de calor quando a água se

encontrava a 44,7°C e depois de uma hora essa água se apresentava a 43,4°C. Multiplicando o volume do reservatório (300 litros) com a diferença da temperatura inicial e final da água e multiplicando por 0,86 para converter de calorias para watts obteve-se o valor de perda de energia do reservatório de 335,4 W.

Dentro deste reservatório de água, foi instalado o condensador em forma de serpentina com 26 metros de comprimento linear com tubo ¼" de cobre.

O evaporador conta com tubo de cobre de 3/8" na linha de líquido e ½" na linha de sucção e conta com 36 metros de comprimento total fazendo troca térmica com o solo.



Foto 7 - Sistema

O compressor utilizado foi o modelo AE4450Y-ESB1 da Tecumseh que tem COP declarado de 2,38 W/W para Temperatura de Evaporação 7,2 °C e Temperatura de Condensação de 54 °C, com Temperatura ambiente de 35 °C. Sendo que o objetivo do experimento é o aquecimento e não o resfriamento o COP considerado padrão é 3,38 W/W.

Os resultados obtidos com o protótipo obtiveram COP de aquecimento 2,50 e 4,47 W/W ao logo das variações de temperatura. E obtivesse o COP médio de 3,16 W/W.

Esse valor médio ficou abaixo do esperado, porém em determinadas condições o experimento obteve rendimento acima do previsto na tabela do fabricante.

A tabela a seguir mostra os resultados obtidos com o protótipo.

AE4450y-EsB1+A1:W20

HORÁRIOS	Sigla	09:10	09:20	09:30	09:40	09:50	10:00	10:10	10:20	10:30	10:40	10:50	11:00	11:10	11:20	11:30	11:40	11:50	12:00	13:00	15:42	16:42
TEMP. DA ÁGUA	S1	26,4	27,3	28	29,2	30,2	31,6	32,4	33,4	34,4	35,4	36,7	37,7	38,6	39,7	40,6	41,8	42,7	43,5	48,3	44,7	43,4
SUCÇÃO	S2	25,1	20	16,1	14,8	14,8	15,8	16,4	15,2	13,6	13	12,6	12,3	12,5	9,3	9,4	9,7	9	9,7	11,3		
DESCARGA	S3	25,9	64,5	70	74,4	76,6	81	82	82	81,4	80,6	81,3	81,5	82	76,7	75	74,4	72,5	73,1	75,7		
LINHA DE LÍQUIDO	S4	26,2	27,6	28,8	29,8	30,8	33,5	34,2	35	36,9	37,2	38,4	39,1	40,1	41,4	41,7	42,6	42,8	43,6	47,8		
TEMP. AMBIENTE	S5	25,2	25,5	26,1	27,7	27,7	28,9	33,4	33,4	37,6	34,4	36,7	36	37	40,1	39,5	38,5	36,4	37	41,8	31,8	32,1
Fundo evaporador	D1	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,3	25,4	25,5	25,5	25,5	25,5	25,4	25,4	25,3	25,2	25,1	25,1	25,1	24,8	Pperda	335,4
FUNDO CONTROLE	D2	25,3	25,3	25,3	25,4	25,4	25,4	25,5	25,5	25,6	25,7	25,7	25,7	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8		
RASO EVAPORADOR	D3	25,8	25,9	25,9	25,9	25,9	26	26,1	26,1	26,1	26,1	26	25,8	25,5	25,3	25,1	25	24,8	24,8	24,2	Cálculo da perda de energia na caixa d'água	
RASO CONTROLE	D4	26	26	26	26,1	26,1	26,1	26,2	26,2	26,3	26,3	26,3	26,3	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4	26,5		
TEMP. EVAPORAÇÃO	TE	17,6	-0,5	-0,8	-0,9	-0,9	-0,8	-0,6	0,6	2,5	2,8	3,1	3,2	3,4	3,8	4	4,2	4,4	4,6	5,9		
TEMP. CONDENSADORA	TC	17,6	38,9	39,3	40	40,6	41,5	42,2	43,6	45,3	46,1	47	47,9	48,6	49,9	50,8	51,5	52,2	52,9	56,9		
CORRENTE	Cor	3,36	3,34	3,32	3,3	3,31	3,32	3,34	3,38	3,53	3,53	3,53	3,55	3,6	3,6	3,6	3,6	3,65	3,65	3,65		
SUPERAQUECIMENTO	Sup	7,5	20,5	16,9	15,7	15,7	16,6	17	14,6	11,1	10,2	9,5	9,1	9,1	5,5	5,4	5,5	4,6	5,1	5,4		
SUBRESFRIAMENTO	Sub	-8,6	11,3	10,5	10,2	9,8	8	8	8,6	8,4	8,9	8,6	8,8	8,5	8,5	9,1	8,9	9,4	9,3	9,1		
POTÊNCIA DE ENTRADA	Win	739,2	734,8	730,4	726	728,2	730,4	734,8	743,6	776,6	776,6	776,6	781	792	792	792	792	803	803	803		
POTÊNCIA TRANSFERÊNCIA + Pperdas	Wout		2219,12	1800,52	2847,02	2428,42	3265,63	2009,82	2428,42	2428,42	2428,42	3056,33	2428,42	2219,12	2697,73	2219,12	2847,02	2219,12	2009,82	2009,82		
COEFICIENTE DE PERFORMANCE	COP		3,02	2,46	3,92	3,33	4,47	2,73	3,27	3,13	3,13	3,94	3,11	2,81	3,33	2,8	3,59	2,76	2,51	2,51	Média= 3,156	

Tabela 1 – Resultados obtidos

A tabela foi elaborada a partir das medições realizadas nos diversos pontos da bomba de calor geotérmica. Na parte esquerda dessa tabela existe a nomenclatura do local onde foi feita a medição e a respectiva abreviação, sendo que os valores apresentados foram obtidos de 5 formas distintas.

A primeira captação de dados foi feita com o equipamento Fullgauge Pentax III, esse equipamento determinou os valores de: Temperatura da água, sucção, descarga, linha de líquido e temperatura ambiente.

A segunda captação de dados foi feita com o equipamento Termômetro Digital. Esse equipamento determinou os valores de:

- Fundo Evaporador;
- Fundo Controle;

- Raso Evaporador;
- Raso Controle.

A terceira captação de dados foi feita com o Manifold Digital. Esse equipamento determinou os valores de:

- Temperatura de Evaporação;
- Temperatura de Condensação.

A quarta captação de dados foi feita com o Multímetro Digital. Esse equipamento determinou os valores de Corrente.

A quinta captação de dados foi feita por cálculo dos valores obtidos nas captações anteriormente descrita. Esse cálculo determinou os valores de: Superaquecimento, Sub-resfriamento, Potência de Entrada, Potência Transferida + Pperdas e Coeficiente de Performance.

Para determinar a perda de energia gerada pelo reservatório de água, utilizou-se os valores obtidos pelo sensor Temperatura da água do Pentax III e a medição do intervalo de tempo de 1 hora.

Com base nas temperaturas iniciais e finais juntamente com a quantidade de água e o intervalo de tempo foi possível definir a perda de energia no reservatório de água. A média dos COP obtida neste experimento tem o valor de 3,16 W/W que é muito próximo do valor de catálogo do compressor que é de 3,38 W/W, que é 93,5 % deste valor de manual.

De acordo com o catálogo o COP desse compressor é 2,38 W/W tendo a temperatura de evaporação de 7,2 °C e a temperatura de condensação de 54 °C dentre outras características do laboratório do fabricante obtidas no momento da determinação do rendimento padrão. O COP declarado pelo fabricante é o COP de refrigeração, no nosso caso é considerado o COP de aquecimento. Esse COP de aquecimento é obtido acrescentado uma unidade ao COP de refrigeração, assim o COP de aquecimento padrão do compressor determinado pela fábrica é $2,38+1= 3,38$ W/W, bastante próximo do 3,16 W/W obtido pelo protótipo geotérmico em ambiente externo não controlado.

O gráfico que acompanha a tabela exemplifica os valores de COP obtidos pelo protótipo e nele é possível visualizar a performance de acordo com a variação da temperatura da água do reservatório.

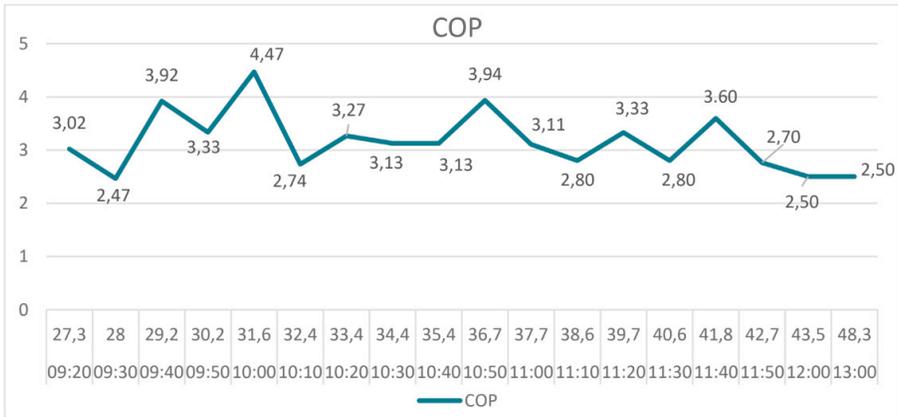


GRÁFICO 1 – COP Obtidos

4 | CONCLUSÃO

O sistema Ground Source é funcional nas condições do protótipo elaborado, os resultados obtidos são suficientes para garantir continuação deste estudo para outras condições climáticas e configurações de interação do trocador de calor com a terra ou água.

O protótipo estará na condição extrema quando as temperaturas mais baixas do inverno chegarem. Nesta condição uma bomba de calor a ar perde a eficiência e pode até ser desligada pelos sensores de segurança, e será nesta condição que a bomba de calor ground source justificará o investimento maior e tempo maior de instalação em comparação com a bomba tradicional, pois o objetivo dela é manter a mesma eficiência já obtida no verão.

Este estudo também pode ser replicado de forma inversa, ou seja, para aproveitar o banho térmico da terra para arrefecer o condensador, já existem artigos sobre o uso de sistema geotérmico por exemplo para Datacenters, utilizando o índice PDD, com um sistema de condensação geotérmica (fonte terrestre) como um opção de banho térmico para condensar o fluido refrigerante, podendo usar uma fórmula aritmética para outros sistemas e usando o novo índice EUED (Energy Usage Effectiveness Design), aplicando esse índice para determinar com maior eficiência energética em novas instalações de empresa juntamente com sistemas geotérmicos (Santos, 2019; Santos, 2020).

Uma das sugestões seria usar o sistema geotérmico de expansão direta para pequenos servidores, até mesmo para sistema direto sem fluido refrigerante com apenas água circulante num cooler.

REFERÊNCIAS

ASHRAE. **Thermal Guidelines for Data Processing Environments**. 4rd Edition. ASHRAE Datacom series. 2014.

CETCO. **High TC Geothermal grout**. Disponível em http://www.cetco.com/DesktopModules/Bring2mind/DMX/Download.aspx?Command=Core_Download&PortalId=0&EntryId=4249, acessado em 22/02/2017.

ENERGY STAR. **Geothermal Heat Pumps**. Disponível em Geothermal Heat Pumps | ENERGY STAR, acessado em 14/02/2017.

IECENGENHARIA. **Proteção Catódica**. Disponível em <https://www.iecengenharia.com.br/noticia/o-que-e-protecao-catodica/> Acessado em 11/11/2020.

PROTOLAB. **Tabela de condutividade térmica de materiais**. Disponível em www.protolab.com.br, acessado em 30/03/2017.

REHAU. **Renewable energy – ground source energy, biomass, biogas**. Disponível em REHAU renewable energy - ground-source energy, biomass, biogas, acessado em 11/01/2017.

Santos, Alexandre F.; Gaspar, Pedro D.; Souza, Heraldo J. L. **Novo Índice de Desempenho de Data Center: Perfect Design Data Center-PDD**. Climate. DOI: 10.3390/cli8100110. Outubro de 2020.

Santos, Alexandre F.; Gaspar, Pedro D.; Souza, Heraldo J. L. **Evaluation of the heat and energy performance of a datacenter for a new efficiency index: energy usage effectiveness design – EUED**. BAPT. vol.62. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2019190021>.

MÉTODOS DE APRENDIZAGEM DE MÁQUINA APLICADOS NA CLASSIFICAÇÃO DE NÍVEIS DE APNEIA UTILIZANDO SINAIS DE ELETROCARDIOGRAMA

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 30/10/2020

João Pedro dos Santos Silva

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
Campina Grande - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/2226095790984425>

Pedro Henrique dos Santos Almeida

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
Campina Grande - Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/1349637105111367>

Letícia Chaves Lima Cananéa

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
Campina Grande – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/5988503332928058>

Helder Alves Pereira

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
Campina Grande – Paraíba
<http://lattes.cnpq.br/7393937425520096>

RESUMO: Na medicina existe um vasto número de exames que tem o diagnóstico obtido por meio da interpretação de imagens, dentre eles o eletrocardiograma (ECG). As informações extraídas não se limitam à atividade do músculo

cardíaco, colocando em perspectiva a facilidade para realizar o diagnóstico de diversos problemas de saúde. A síndrome da apneia obstrutiva do sono (SAOS), caracterizada pela obstrução parcial ou total das vias respiratórias, passa a ter uma possibilidade de identificação ao se isolar o sinal proveniente da respiração no ECG. Verifica-se, na literatura, que a utilização do ECG para identificação da SAOS pode impactar diretamente na redução do número de casos não diagnosticados dessa síndrome. A contribuição deste capítulo é de descrever a classificação de níveis de SAOS utilizando sinais de ECG, bem como apresentar técnicas de inteligência artificial e, conseqüentemente, evidenciar um comparativo das técnicas de aprendizagem de máquina (*machine learning*) mais eficientes utilizadas na literatura.

PALAVRAS-CHAVE: Apneia do Sono, Aprendizado de Máquina, Complexo QRS, Eletrocardiograma.

MACHINE LEARNING METHODS APPLIED TO CLASSIFICATION OF APNEA LEVELS USING ELECTROCARDIOGRAM SIGNALS

ABSTRACT: In the medical field there is a wide number of exams that have their diagnosis obtained by interpretation of images, including the electrocardiogram (ECG). The health information extracted is not limited to cardiac activity, suggesting a simpler way to diagnose several health problems. The obstructive sleep apnea (OSA), typified by partial or total airway obstruction, becomes possible to identify by isolating the signal from ECG breathing. It is

verified in the literature that the use of ECG for OSA identification can directly impact the reduction on the number of the syndrome's undiagnosed cases. The contribution of this chapter is to describe the classification of OSA levels using ECG signals, as well as to present artificial intelligence techniques and, consequently, to show a comparison of the most efficient machine learning techniques used in the literature.

KEYWORDS: Electrocardiogram, Machine Learning, Obstructive Sleep Apnea, QRS Complex.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo Moeynoi et al. (2016), distúrbios do sono podem levar à avaria das funções do corpo. Dessa forma, a falta de sono pode influenciar diretamente na deterioração do bem estar físico, emocional e psicológico de uma pessoa (SISODIA et al., 2017). Nesse contexto, um dos mais comuns distúrbios do sono ganha destaque: a síndrome da apneia obstrutiva do sono (SAOS) (KHANDOKER et al., 2008). A SAOS é definida pela interrupção frequente da respiração, ocasionada por obstrução parcial, ou completa, das vias aéreas superiores, em geral, em curtos períodos de tempo durante o sono (KAO et al., 2012). Tipicamente, também é acompanhada de redução da saturação de oxigênio no sangue e leva o indivíduo a acordar diversas vezes para desobstruir as vias aéreas (KAO et al., 2012).

A fragmentação do sono pode resultar em redução da performance cognitiva, aumento do risco de acidentes automobilísticos, ou de trabalho, desencadeamento de quadros depressivos, desempenho sexual reduzido e perda de memória (KHANDOKER et al., 2008). Entretanto, casos não diagnosticados da SAOS estão sendo classificados como importantes fatores de risco no desenvolvimento de doenças cardiovasculares - como hipertensão, derrame, insuficiência cardíaca, hipertrofia ventricular esquerda ou síndrome coronária aguda (KHANDOKER et al., 2008).

Segundo dados coletados da população dos Estados Unidos, aproximadamente 14% dos homens e 5% das mulheres sofrem da síndrome, tendo-se, dentre os fatores que levam à falta de identificação da apneia, o alto custo e a pouca praticidade do exame padrão, a polissonografia (CHEN et al., 2015). Esse exame consiste em medir a atividade respiratória, muscular e cerebral durante uma noite completa de sono, com o auxílio de sensores e eletrodos espalhados por todo o corpo. As informações são analisadas com o auxílio de computadores que traduzem os dados por meio de padrões. No entanto, ainda assim, é necessário um especialista para interpretar os registros obtidos (MOEYNOI et al., 2016).

Dentre os sinais analisados na polissonografia, o eletrocardiograma (ECG) é o mais significativo no diagnóstico da apneia, visto que é captado facilmente e causa mínima perturbação no sono (SADR et al., 2014). O formato de onda do ECG é influenciado pelo movimento da atividade respiratória do coração e dos pulmões (SADR et al., 2015). É

importante destacar que técnicas de processamento de sinais podem ser usadas para isolar o sinal da respiração oriundo do ECG (EDR - *ECG-Derived Respiration*). Dessa forma, a informação respiratória se torna disponível por meio do monitoramento cardíaco (SISODIA et al., 2017). Nesse contexto, a utilização de técnicas de inteligência artificial, dentre elas a aprendizagem de máquina (*machine learning*), tem se mostrado interessante para classificar episódios de apneia, representando assim uma possibilidade viável para o diagnóstico da SAOS, agilizando os devidos processos de tratamento (SISODIA et al., 2017).

A contribuição deste capítulo é de descrever a classificação de níveis de SAOS utilizando sinais de ECG, bem como apresentar técnicas de inteligência artificial e, conseqüentemente, evidenciar um comparativo das técnicas de *machine learning* utilizadas na literatura. Está organizado da seguinte forma: na Seção 2, apresenta-se uma breve descrição dos sinais de ECG e de como são utilizados no diagnóstico da SAOS. Na Seção 3, descreve-se os métodos de *machine learning* presentes na literatura para diagnóstico da SAOS por meio de sinais de ECG. Por fim, na Seção 4, apresentam-se as devidas conclusões e perspectivas de trabalhos futuros.

2 | SINAIS DE ECG E DIAGNÓSTICO DA SAOS

O ECG é um procedimento simples, rápido e indolor, no qual são mensuradas e amplificadas as atividades elétricas associadas ao coração, a partir de eletrodos distribuídos pelo corpo do paciente (SADR et al., 2016a). Os sinais fisiológicos desse procedimento representam instrumentos importantes para identificação de distúrbios biológicos, como, por exemplo, a SAOS, pois os padrões respiratórios podem ser extraídos pelos sinais processados (SADR et al., 2016a). O registro do ECG acontece por meio da variação do potencial elétrico (eixo y) com relação ao período de tempo analisado (eixo x), conforme pode ser observado na Figura 1.

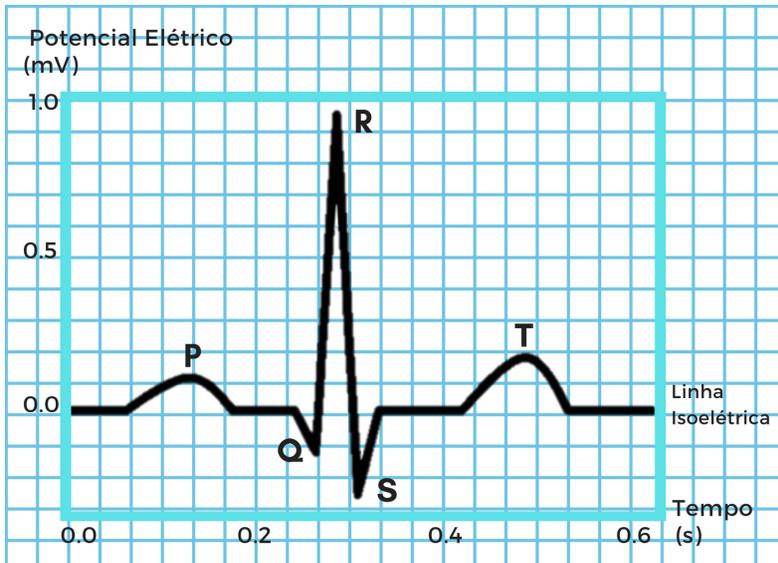


Figura 1 – Registro de um ECG normal.

Fonte: Baseado em Manzan (2006).

De acordo com Manzan (2006), o sinal do ECG representa o registro dos movimentos cardíacos em cinco etapas distintas, representadas pelos formatos de onda: P, Q, R, S e T. A forma de onda denominada P, primeira onda do ciclo, representa a despolarização dos átrios, ou seja, a ativação da musculatura atrial. A primeira parte da onda é referente ao átrio direito e a segunda ao átrio esquerdo, a qual tem duração de 0,10 s e potencial elétrico máximo de 0,25 mV. Com relação à despolarização dos ventrículos, o processo se associa às ondas denominadas Q, R e S, designado como complexo QRS, com duração de 0,06 s a 0,10 s.

A onda Q representa a primeira deflexão negativa do complexo. Já a onda R, a primeira deflexão positiva, podendo, ou não, ser precedida por uma onda Q. Porém, se houver uma segunda deflexão para cima, ela é chamada R' (R linha). A onda S é a que aparece após a onda R. Vale destacar também que a onda T, representante da repolarização dos ventrículos, é normalmente de menor amplitude do que o complexo QRS, assimétrica e positiva em todas as derivações. Essa onda apresenta amplitude máxima inferior a 0,5 mV nas derivações periféricas e menor que 1,5 mV nas derivações precordiais. Além disso, existe a forma de onda U, que é positiva e de baixo valor de potencial elétrico com relação às outras formas de onda, aparecendo após a onda T e sendo normalmente desconsiderada nos exames de ECG (MANZAN, 2006; MY EKG, 2019).

Dentre os sinais extraídos a partir do ECG, Ma et al. (2015) destacaram alguns parâmetros importantes, tais como: 1) a média do intervalo entre duas ondas R (intervalo

RR); 2) o desvio padrão do intervalo RR; 3) a média do inter-quartil; 4) os valores médios do desvio absoluto; 5) a média da amplitude RR; 6) o desvio padrão da amplitude RR; 7) a média do batimento cardíaco em tempo real; 8) o desvio padrão da frequência cardíaca em tempo real; 9) a média do ângulo QRS; 10) o desvio padrão do ângulo QRS; 11) a média do intervalo entre duas ondas T (intervalo TT); 12) o desvio padrão do intervalo TT; 13) a média da amplitude TT e 14) o desvio padrão da amplitude do intervalo TT. De acordo com Chen et al. (2015), uma das características do sinal de ECG, que apresenta forte relação com a SAOS, é o intervalo RR. Segundo eles, durante o sono normal, o intervalo RR mostra uma oscilação cíclica. Entretanto, quando ocorrem eventos de apneia, os padrões de oscilação são interrompidos pelo aumento do controle do sistema cardiovascular. Conforme Ma et al. (2015), a média do intervalo RR, do inter-quartil e da frequência cardíaca em tempo real representam importantes características para serem usadas como sinais para distinguir conjuntamente o distúrbio do sono e a respiração normal.

De acordo com Sadr et al. (2015), existem vários métodos de extração do sinal respiratório oriundo do ECG. Dentre os métodos, Sadr et al. (2015) destacaram três algoritmos diferentes, são eles: 1) amplitude QRS; 2) análise do componente principal (PCA - *Principal Component Analysis*); e 3) *kernel* PCA. Com relação à amplitude QRS, o algoritmo se propõe a calcular a área sob cada complexo QRS entre o ponto inicial e 100 ms depois. O método PCA permite reduzir as dimensões do sinal, encontrando a direção em que seja mais provável que os dados se espalhem e os novos valores de direção para os dados chamados componentes principais (PCs - *Principals Components*). Já o *Kernel* PCA é aplicado no caso de padrões não lineares existentes no conjunto de dados. Com os resultados obtidos, constatou-se que o desempenho, com relação à eficiência do algoritmo PCA, foi igual, ou superior, aos outros dois algoritmos.

Com relação aos estudos realizados por Sadr et al. (2016a), observou-se que, inicialmente, foram utilizados métodos como a amplitude da onda R, a amplitude RS, a área do complexo QRS e a área da onda R. Porém, posteriormente, foram implementadas novas técnicas, como transformada discreta de *wavelet* (DWT - *Discrete Wavelet Transform*), modo empírico de decomposição (EMD - *Empirical Mode Decomposition*) e PCA. Outro método bastante importante, proposto por Sadr et al. (2016a), foi o PCA aproximado. Esse algoritmo é considerado simples para medição da respiração oriunda do ECG, sendo computacionalmente rápido e com baixos requisitos de memória. Os pesquisadores revelaram que, comparando os resultados obtidos entre esse método e o PCA original, que segmenta as gravações completas do procedimento, o método de PCA aproximado apresentou um desempenho melhor com relação ao original (aproximadamente 13 vezes mais rápido). Vale ressaltar que esse método simplificava suas aplicações para sinais longos e facilitava outros monitoramentos de sinais biológicos para implementação em tempo real.

Assim, diante das contribuições supracitadas, infere-se que um método

computacional deve ser utilizado para classificar e discriminar indivíduos entre saudáveis e com diferentes níveis de SAOS. Uma abordagem de pesquisa que se mostra interessante para esse objetivo é a utilização de algoritmos baseados nos fundamentos de inteligência artificial, dentre eles o *machine learning*, pois permite a otimização de tarefas dependentes da análise sistemática dos dados.

3 I CLASSIFICAÇÃO DE SINAIS DE ECG UTILIZANDO *MACHINE LEARNING* PARA DIAGNÓSTICO DA SAOS

Machine learning é uma subárea da inteligência artificial baseada na premissa de que sistemas podem aprender com os dados e, com a experiência obtida, tomar decisões por meio da identificação de padrões (FACELI et al., 2011). Essa subárea envolve três categorias, que são utilizadas de acordo com a natureza do aprendizado disponível, são elas: aprendizado supervisionado, não supervisionado e por reforço (FACELI et al., 2011).

Em relação à SAOS, geralmente, os métodos praticados para obtenção de dados se concentram na extração de características no domínio do tempo, da frequência e em outras características não-lineares de vários sinais baseados em ECG (SONG et al., 2015). Com essas características do sinal de ECG devidamente extraídas, é possível a construção de modelos de classificação utilizando como base algoritmos de *machine learning* (SONG et al., 2015). Com um banco de dados que contenha amostras de pessoas que possuem, ou não, a apneia obstrutiva do sono, é possível utilizar diversos modelos de classificação para esses sinais pré-processados. Dentre eles, cabe citar redes neurais, aprendizado de máquina extremo (ELM - *Extreme Learning Machine*), máquina de vetor de suporte (SVM - *Support Vector Machine*), dentre outros (PEITEADO-BREA et al., 2014).

A eficácia da utilização de algoritmos de *machine learning* na classificação de sinais de ECG, não apenas para a SAOS, mas para diversas arritmias cardíacas, já foi comprovada no meio científico devido à sua precisão na classificação de novas amostras de dados (CHEN et al., 2015). Para a SAOS, por exemplo, Shouldice et al. (2004) propuseram um método de classificação integrando sinais de ECG, segmentados minuto a minuto, com uma análise discriminatória quadrática (QDA - *Quadratic Discriminant Analysis*), alcançando assim uma precisão de 72,1% por segmento. Khandoker et al. (2008) propuseram um método de classificação conhecido como SVM para identificação da SAOS com base em vários recursos extraídos de intervalos RR e do sinal de EDR por decomposição de *wavelets*. Em seu trabalho, mais de 90% dos indivíduos foram classificados corretamente. Mendez et al. (2009) estudaram mais de 70 características e distinguiram segmentos de apneia de segmentos normais com uma precisão de 88%, por meio do algoritmo conhecido como *K* vizinhos mais próximos (KNN - *K Nearest Neighbors*) e com redes neurais.

Bsoul et al. (2010) desenvolveram um sistema de monitoramento de apneia, baseado em dispositivos móveis (*smartphones*) e com o uso de um ECG de uma única

leitura (*single-lead ECG*), no qual foram analisadas 63 características de intervalos RR e 48 de sinais EDR extraídos minuto a minuto, utilizando o método de SVM para detecção de apneia nesses segmentos. Kao et al. (2012) propuseram o uso do método *bootstrap adaBoost*, juntamente com KNN, para detecção da SAOS e obtiveram uma eficácia de 91,95%. Morillo et al. (2013) adotaram uma rede neural probabilística (PNN - *Probabilistic Neural Network*) para identificação de anomalias nas amostras de ECG e obtiveram uma eficácia de 93,9%. Sadr et al. (2014) propuseram a identificação da SAOS com *single-lead ECG* através do algoritmo ELM e obtiveram uma eficácia de 87,7%.

Song et al. (2015) utilizaram o modelo discriminatório escondido de Markov (DHMM - *Discriminative Hidden Markov Model*), juntamente com o algoritmo SVM, para detectar a SAOS em segmentos de gravações de ECG e obtiveram uma eficácia de 97,1%. Chen et al. (2015) propuseram o uso da densidade de classificação de núcleo (KDC - *Kernel Density Classification*), baseado no *single-lead ECG*, e obtiveram uma eficácia de 82,07%.

Sadr et al. (2016a) utilizaram dois métodos de classificação do sinal de ECG, sendo eles: ELM e análise linear discriminante (LDA - *Linear Discriminant Analysis*). Já para realizar a extração do sinal de EDR, foram usados dois algoritmos: o PCA aproximado e o PCA segmentado. Foi verificado uma eficiência de 78,4% para o algoritmo de LDA, utilizando o PCA aproximado. Sadr et al. (2016b) analisaram a extração do sinal de EDR com o algoritmo referente à área do complexo QRS, adicionando também o método SVM. Foi verificado uma eficiência de 81% para o algoritmo de LDA, utilizando a área QRS.

Gopal et al. (2017) propuseram um método que reduziu o tempo de resposta computacional, baseado em um classificador neuro-fuzzy, considerando a dependência temporal do segmento de sinal, conseguindo eficácia de 87%. Sisodia et al. (2017), após uma análise comparativa entre diversos classificadores - sendo esses SVM, KNN, *naive bayes*, vetor quantização de aprendizagem (LVQ - *Learning Vector Quantization*), classificador quadrático e floresta aleatória (RF - *Random Forest*) - constataram que o método de maior eficácia foi o SVM de *kernel* linear, com 94,32% de eficácia para intervalos de separação de dados de 15 s. Fahrzuri et al. (2019) utilizaram a técnica de aprendizado em conjunto (EL - *Ensemble Learning*) para mesclar múltiplos métodos de classificação e encontrar modelos com poucos erros e maior eficácia, obtendo um que possuía em sua base o *boosted tree learning*, cuja eficácia foi de 94,7%. A tabela 1 apresenta um resumo dos principais métodos de utilização de *machine learning* para classificação da SAOS, considerando sinais de ECG, disponíveis na literatura.

Referência	Método	Eficácia	Sensibilidade	Especificidade
Shouldice et al. (2004)	QDA	72,1%	X	X
Khandoker et al. (2008)	SVM	92,9%	92,4%	93,8%
Mendez et al. (2009)	KNN+RN	88,0%	X	X
Bsoul et al. (2010)	SVM	X	X	X
Kao et al. (2012)	<i>The bootstrap adaBoost + KNN</i>	91,95%	99,36%	89,02%
Morillo et al. (2013)	PNN	93,9%	92,4%	95,9%
Sadr et al. (2014)	ELM	87,7%	91,7%	81,3%
Chen et al. (2015)	KDC	82,07%	83,23%	80,24%
Song et al. (2015)	DHMM + SVM	97,1%	95,8%	100%
Sadr et al. (2016a)	<i>Approximated PCA + LDA</i>	78,4%	84,6%	68,3%
Sadr et al. (2016b)	<i>LDA classifier</i>	81%	84%	77%
Gopal et al. (2017)	Neuro-fuzzy	87%	X	X
Sisodia et al. (2017)	SVM	94,32%	91,89%	78,16%
Fahruzi et al. (2019)	<i>Ensemble learning</i>	94,7%	X	X

Tabela 1. Resumo dos principais métodos de utilização de *machine learning* para classificação da SAOS, considerando sinais de ECG, disponíveis na literatura.

Fonte: Do próprio autor.

4 | CONCLUSÕES

A contribuição deste capítulo foi de descrever a classificação de níveis de SAOS, por meio de sinais de ECG, e de apresentar técnicas de inteligência artificial baseadas em *machine learning*, descrevendo resultados da literatura em termos de eficácia, sensibilidade e especificidade.

Também, evidenciou-se o formato dos sinais analisados e a partir de quais aspectos pode-se diagnosticar a SAOS. Dentre os trabalhos descritos neste capítulo, o método SVM, juntamente com DHMM, obteve o melhor resultado com uma eficácia de 97,1%.

Por fim, em busca de um aprimoramento do que foi verificado na literatura, alguns aspectos podem ser considerados, tais como: buscar melhores métodos de pré-processamento e um maior número de características relevantes do sinal e priorizar métodos de *machine learning* que utilizem pouco processamento, a fim de possibilitar a produção de tecnologias mais simples e menos incômodas para o paciente na realização do exame de diagnóstico da SAOS.

REFERÊNCIAS

BSOUL, M. et al. Apnea MedAssist: real-time sleep apnea monitor using single-lead ECG. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, v. 15, n. 3, p. 416-427, 2010.

CHEN, L. et al. An obstructive sleep apnea detection approach using kernel density classification based on single-lead electrocardiogram. *Journal of medical systems*, v. 39, n. 5, p. 47, 2015.

FACELI, K. et al. Inteligência Artificial: Uma abordagem de aprendizado de máquina. **Rio de Janeiro: LTC**, 2011.

FAHRUZI, I. et al. Classification of Sleep Disorder from Single Lead Non-overlapping of ECG-apnea based Non-Linear Analysis using Ensemble Approach. In: **International Conference on Awareness Science and Technology (ICAST)**. IEEE, 2019. p. 1-6.

GOPAL, S. et al. Obstructive sleep apnea detection from ECG signal using neuro-fuzzy classifier. In: **International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)**. IEEE, 2017. p. 910-915.

KHANDOKER, A. H. et al. Support vector machines for automated recognition of obstructive sleep apnea syndrome from ECG recordings. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, v. 13, n. 1, p. 37-48, 2008.

KAO, T. et al. Using Bootstrap AdaBoost with KNN for ECG-based automated obstructive sleep apnea detection. In: **The International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)**. IEEE, 2012. p. 1-5.

MA, H. T. et al. Real-time automatic monitoring system for sleep apnea using single-lead electrocardiogram. In: **TENCON 2015-2015 IEEE Region 10 Conference**. 2015. p.1-4.

MANZAN, W. A. **Utilização das transformadas wavelets na extração de características e no reconhecimento de padrão em um sinal de ECG**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2006.

MENDEZ, M. O. et al. Sleep apnea screening by autoregressive models from a single ECG lead. *IEEE transactions on biomedical engineering*, v. 56, n. 12, p. 2838-2850, 2009.

MOEYNOI, P. et al. Canonical correlation analysis for dimensionality reduction of sleep apnea features based on ECG single lead. In: Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON). IEEE, 2016. p. 1-5.

MORILLO, D. S. et al. Probabilistic neural network approach for the detection of SAHS from overnight pulse oximetry. **Medical & biological engineering & computing**, v. 51, n. 3, p. 305-315, 2013.

My EKG. Ondas do Eletrocardiograma. Disponível em: < <https://pt.my-ekg.com/generalidades-ecg/ondas-eletrocardiograma.html>> . Acesso em: 22 de novembro de 2019.

PEITEADO-BREA, V. et al. A study of heart rate variability as sleep apnoea predictor over two different databases. In: **IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI)**. 2014. p. 359-362.

SADR, N. et al. Automated detection of obstructive sleep apnoea by single-lead ECG through ELM classification. In: Computing in Cardiology. IEEE, 2014. p. 909-912.

SADR, N. et al. A Comparison of obstructive sleep apnoea detection using three different ECG derived respiration algorithms. In: **Computing in Cardiology Conference (CinC)**. 2015. p. 301-304.

SADR, N. et al. A fast approximation method for principal component analysis applied to ECG derived respiration for OSA detection. In: **International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)**. 2016. p. 6198-6201.

SADR, N. et al. Comparing ECG derived respiratory signals and chest respiratory signal for the detection of obstructive sleep apnoea. In: *Computing in Cardiology Conference (CinC)*. IEEE, 2016. p. 1029-1032

SHOULDICE, R. B. et al. Detection of obstructive sleep apnea in pediatric subjects using surface lead electrocardiogram features. **Sleep**, v. 27, n. 4, p. 784-792, 2004.

SISODIA, D. et al. Sleep order detection model using support vector machines and features extracted from brain ECG signals. In: International Conference on Inventive Computing and Informatics (ICICI). IEEE, 2017. p. 1011-1015.

SONG, C. et al. An obstructive sleep apnea detection approach using a discriminative hidden Markov model from ECG signals. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, v. 63, n. 7, p. 1532-1542, 2015.

ANÁLISE E SIMULAÇÃO DE CONTROLE VOLUMÉTRICOS E DINÂMICOS EM SISTEMAS DE PERFURAÇÃO DE POÇOS PETROLÍFEROS

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 15/11/2020

Juliana Gomes da Silva

Universidade Federal do Amazonas – UFAM
Manaus - Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/9565818452276509>

Savio Raider Matos Sarkis

Universidade Federal do Amazonas – UFAM
Manaus - Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/6674204758775154>

RESUMO: Controlar um influxo de gás (*kick*) e prevenir uma erupção (*blowout*) durante a perfuração de um poço petrolífero não é uma tarefa fácil, por isso é necessário um plano de controle rápido, viável e eficiente. Um rigoroso controle de poço na produção de óleo e gás pode prevenir esses influxos indesejáveis e diversos problemas tanto econômicos quanto ambientais. Portanto, o objetivo deste trabalho é fazer uma análise do comportamento das pressões, durante a circulação de um *kick*, através do desenvolvimento de um simulador de controle de poço utilizando o método volumétrico dinâmico. Considerando aspectos como volume do influxo mínimo, situações offshore de águas profundas para diferentes cenários de lâmina d'água e a influência de parâmetros do fluido de controle no comportamento das pressões. O simulador terá como resposta ao controle de poço nas operações de perfuração com a introdução de novos recursos que auxiliem os

profissionais da área a tomar decisões durante a ocorrência de um influxo indesejável. Para desenvolver o simulador a metodologia aplicado no controle volumétrico dinâmico será baseada na modelagem matemática de NUNES (2002). *Kick* em poços profundos, por ser uma área de difícil acesso, os avanços tecnológicos se tornam limitados. Tendo em vista que um simulador tem importância na otimização do controle de poço nas operações de perfuração, o qual permitirá analisar o comportamento das pressões na superfície e no interior do poço, podendo auxiliar outros projetos de poço durante a perfuração. O simulador de kicks para ambiente offshore de águas profundas será elaborado através de um código computacional no programa JAVA, que visa monitorar o comportamento das pressões no anular e na linha de choke a partir da leitura dos dados do poço (diâmetros, profundidade e capacidade volumétrica), do fluido (massa específica e reologia), do influxo de gás e das geopressões.

PALAVRAS-CHAVE: Controle de poços, Kick, Águas Profundas.

ANALYSIS AND SIMULATION OF VOLUMETRIC AND DYNAMIC CONTROL IN OIL WELL DRILLING SYSTEMS

ABSTRACT: Controlling a gas inflow (*kick*) and preventing an eruption (*blowout*) while drilling an oil well is not an easy task, so a fast, viable and efficient control plan is needed. Strict well control in the production of oil and gas can prevent these undesirable inflows and several economic and environmental problems. Therefore, the objective of this work is to make an analysis of the pressure

behavior, during the circulation of a kick, through the development of a well control simulator using the dynamic volumetric method. Considering aspects such as minimum inflow volume, deepwater offshore situations for different water depth scenarios and the influence of control fluid parameters on pressure behavior. The simulator will respond to well control in drilling operations with the introduction of new resources that help professionals in the area to make decisions during the occurrence of an undesirable inflow. To develop the simulator, the methodology applied in the dynamic volumetric control will be based on the mathematical modeling of NUNES (2002). Kick in deep wells, as it is an area of difficult access, technological advances become limited. Bearing in mind that a simulator is important in optimizing well control in drilling operations, which will allow the analysis of the behavior of pressures on the surface and inside the well, being able to assist other well projects during drilling. The kicks simulator for deepwater offshore environment will be elaborated through a computational code in the JAVA program, which aims to monitor the behavior of the pressures in the annular and the choke line from the reading of the well data (diameters, depth and volumetric capacity), fluid (density and rheology), gas inflow and geopressures.

KEYWORDS: Well control, Kick, Deep Water.

1 | INTRODUÇÃO

Durante a perfuração de um poço petrolífero pode ocorrer um influxo indesejável do fluido da formação para o interior do poço, denominado de Kick. A principal causa é devido a pressão no poço ser menor do que a pressão da formação que está sendo perfurada, (Oliveira, Arruda e Negrão, 1988).

De acordo com SANTOS (2013), se esse influxo atinge a superfície através do poço, tem-se uma situação chamada de blowout de superfície; se o influxo atinge a superfície através de fraturas na rocha que terminam na superfície como crateras, tem-se uma situação chamada de crateramento; se o influxo é para o fundo do mar, tem-se um blowout submarino; e se existe um influxo entre a formação produtora e outra formação não revestida do poço, tem-se um underground blowout.

1.1 Causa de Kicks

As causas de *kicks* estão geralmente relacionadas com a redução do nível de fluido no interior do poço e/ou com a redução da massa específica do fluido de perfuração. Qualquer ação ou acontecimento que implique a redução dos valores desses dois parâmetros que constituem a pressão hidrostática constitui-se num potencial causador de influxos (Santos, 2013). As principais causas de kicks são: Pistoneio mecânico e hidráulico, não abastecimento do poço em manobras, peso do fluido insuficiente, perda de circulação, pressão anormalmente alta, corte de fluido por gás e cimentação inadequada

1.2 Como detectar um kick

Detectar um kick é uma tarefa de extrema importância, pois quanto maior for o

tempo de detecção maior será o volume do influxo e será mais difícil de controlar o mesmo. Existem diversos indícios de kicks que alertam a equipe, entretanto nem todos os indícios significam que um kick está ocorrendo, alguns servem apenas de alerta. A detecção de um influxo pode ocorrer durante a perfuração do poço, durante uma manobra, na descida do revestimento ou em uma perda de circulação.

Os principais indícios de kicks, segundo Thomas et al (2001), são: Aumento de volume de lama nos tanques, aumento da taxa de penetração, aumento da vazão de retorno da lama, redução da pressão de circulação e aumento na velocidade da bomba, corte de lama por água salgada, corte de lama por gás e/ou óleo, fluxo com as bombas desligadas, poço aceitando menos lama que o volume de aço retirado, poço devolvendo mais lama que o volume de aço decido e durante uma perda de circulação.

1.3 Métodos de controle de poço

Com intuito de remover esses influxos indesejáveis, existem os métodos de controle de poço. Cada método tem sua aplicabilidade e suas limitações, mas a maioria adota o princípio da manutenção da pressão no fundo do poço constante. Nesses métodos mantem-se a pressão no fundo do poço constante e com um valor igual a pressão de formação acrescido a uma margem de segurança. Segundo Santos (1982) os métodos de controle de poço mais utilizados são:

- a. Método do engenheiro: No método do engenheiro o kick é removido, utilizando o fluido de matar, com apenas uma circulação. A circulação começa após o preparo da lama nova que será injetada no poço, esse método dificilmente é usado em águas profundas pois durante o tempo de preparo o influxo continua expandindo.
- b. Método do sondador: Nesse método, o fluido invasor é removido por meio de duas circulações. A primeira circulação é feita utilizando o fluido de perfuração original e a segunda utilizando um novo fluido
- c. Método volumétrico: Esse método é utilizado quando a circulação através da coluna não é possível. O método volumétrico estático é dividido em duas fases: primeiro ocorre a migração do gás até a superfície e depois é injetado uma lama nova. No modelo dinâmico essa injeção de lama ocorre simultaneamente com a migração do gás.
- d. Métodos não convencionais: Baixa pressão no choke, bullheading e stripping.

2 | OBJETIVO ESPECÍFICO

- Desenvolver um programa computacional para controle de poço que contemple situações offshore de águas profundas;

- Simular casos de influxos de gás em cenários de lâmina d'água com 500, 1000 e 2000 metros de profundidade;
- Verificar o sucesso do simulador elaborado, comparando os resultados obtidos com os resultados de NUNES (2002) e com os valores encontrados no simulador desenvolvido por Carlos Moura, chamado de Dynamic Volumetric Method;
- Analisar, com o simulador Dynamic Volumetric Method, a influência de diferentes volumes de ganho de lama inicialmente (20 bbl, 40 bbl e 60 bbl).

3 | OBJETIVO GERAL

Analisar o comportamento das pressões e o ganho de lama, durante a circulação de um kick, através do desenvolvimento de um simulador que seja direcionado ao método volumétrico dinâmico.

4 | METODOLOGIA

A partir da revisão bibliográfica feita e da análise dos modelos de simuladores kicks já criados, estabeleceu-se as premissas básicas do modelo que será desenvolvido. A situação operacional básica consiste em um kick ocorrendo em um poço que devido ao jato da broca estar entupido e impedir que o fluido de perfuração seja usado para circular o kick através da coluna.

4.1 Premissas

Algumas premissas foram definidas para elaboração do programa, essas permitem facilitar alguns cálculos e abordar diferentes pontos que foram poucos explorados em outros artigos. Foram essas: poço completamente vertical, fluido a base de água, geometria variável, gás ideal, escoamento do tipo “Bolhas de Taylor”, kick de gás e método volumétrico dinâmico.

4.2 Dados de entrada

Os dados de entrada devem ser fornecidos usando as unidades do Sistema de Unidades (SI), após o input dos dados o programa gera novas variáveis, os dados de entrada são: Geometria do poço, temperatura do fundo do mar, temperatura do fundo do poço, propriedades do fluido de perfuração, pressão de poros da formação contendo gás (o usuário pode entrar com o valor da SIDPP), vazão quando ocorreu o kick, tempo para fechar o BOP, vazão reduzida de circulação, margem de segurança a ser utilizada durante a circulação do influxo, gradiente de fratura e profundidade da região mais frágil do poço.

4.3 Procedimento Operacional

O método volumétrico dinâmico utiliza o seguinte procedimento operacional, de

acordo com SANTOS (2013):

- a. Após o fechamento do poço, devido ao kick, registrar o ganho de lama inicial (G_i) e a SICP. A perda de carga por fricção na linha de matar (ΔP_{kl}), que é igual à da linha do choke, deve ser registrado previamente a 150 gpm
- b. Determinar a redução de pressão hidrostática no fundo do poço, devido a drenagem de um barril de lama (α) em psi/bbl, por meio da equação:

$$\alpha = \frac{0,17 \times \rho_{lama}}{0,2298}$$

- c. Traçar em um gráfico de pressão de bombeio, em função do ganho de lama, uma reta com inclinação α e passando pelo ponto (G_i , SICP). Traçar então a reta de trabalho que é a reta paralela que inclui margem de segurança de 100 psi e as perdas de cargas na linha de matar (ΔP_{kl}).
- d. Iniciar a circulação a 150 gpm pela linha de matar com retorno pela linha de choke com a pressão inicial de circulação (PIC_{kl}) igual a: $PIC_{kl} = SICP + 100 + \Delta P_{kl}$. A pressão inicial do choke (P_{ck}) será igual a $SICP + 100 - \Delta P_{kl}$.
- e. Observando a pressão de bombeio, ajustar o choke, de forma com que essa pressão acompanhe a reta de trabalho estabelecida no gráfico. Na fase da migração do gás, o acompanhamento é no sentido da esquerda para direita, enquanto na produção do kick o sentido é o inverso. Em condições de controle perfeito, quando todo o gás estiver fora do sistema, o ganho de lama será nulo.
- f. Retirar o gás aprisionado abaixo da gaveta de hang-off e substituir o fluido no riser e nas linhas de choke e de matar por um fluido com massa específica suficiente para matar o poço. Abrir o poço para descida ou retirada da coluna, sempre checando quanto a possibilidade de fluxo.

4.4 Organização do programa

Através dos dados de entrada, dados do poço e dos fluidos, o programa determina algumas características do kick (altura da base e do topo) e assim simula uma circulação através do método volumétrico. Através dos dados calculados do kick o programa calcula a pressão na superfície em diferentes intervalos de tempo e imprime os resultados.

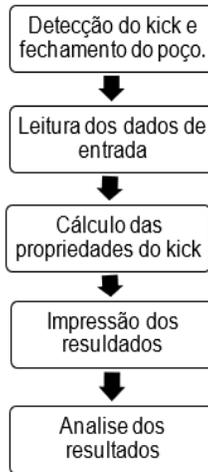


Figura 1: Fluxograma para desenvolvimento do programa.

Fonte: própria.

Para o desenvolvimento do simulador, escolheu-se primeiro o poço que seria analisado. O poço escolhido foi o mesmo poço que NUNES (2002), sendo um poço com geometria variável.

Parâmetros	SI	Campo	Parâmetros	SI	Campo
Profundidade total	3500 m	11483,5 ft	Leitura do reômetro (θ_{300})		29,56
Lâmina d'água	550 m	1804,5 ft	Leitura do reômetro (θ_{600})		48,02
Profundidade da Sapata	2000 m	8202,5 ft	Densidade do gás	0,65	0,65
Comprimento do comando	500 m	1640,5 ft	Volume inicial do influxo	6,36 m ³	40 bbl
Comprimento da coluna	3500 m	11483,5 ft	Vazão de circulação	0,0126 m ³ /s	200 gal/min
Diâmetro interno do poço aberto	0,216 m	8,5 pol	SIDPP	3100 kPa	450 psi
Diâmetro do revestimento	0,251 m	9,875 pol	Margem de segurança	689,5 kPa	100 psi
Diâmetro do comando	0,165 m	6,5 pol	Tempo de fechamento	60s	1 min
Diâmetro da coluna de perfuração	0,127 m	5 pol	Gradiente geotérmico	0,0146 °C/m	0,008 °F/ft
Diametro da linha do choke	0,0762 m	3 pol	Temp. da água do mar	10 °C	50 °F

Massa específica da lama	1,2 kg/m ³	10 lbm/gal	SICP	680 PSI	4688 MPA
--------------------------	-----------------------	------------	------	---------	----------

Tabela 1: Dados do poço a ser analisado.

Fonte: Nunes (2002).

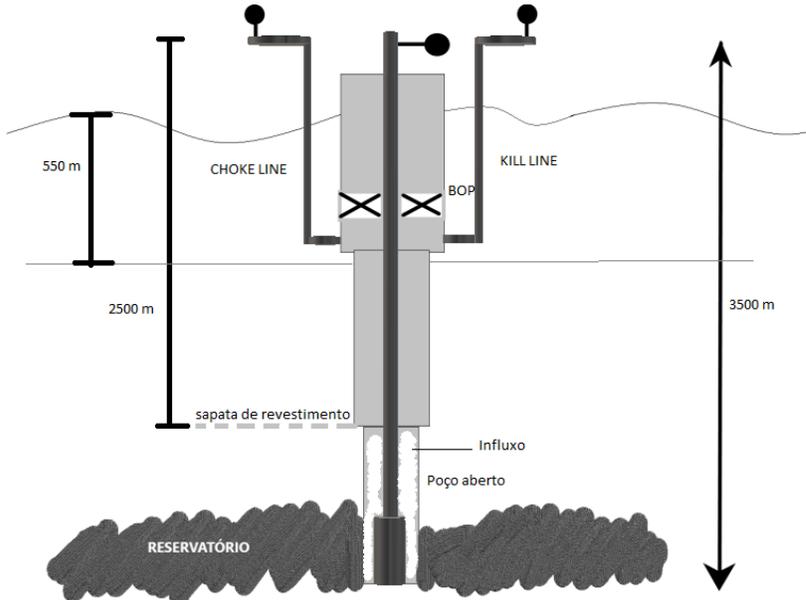


Figura 2: Poço a ser analisado.

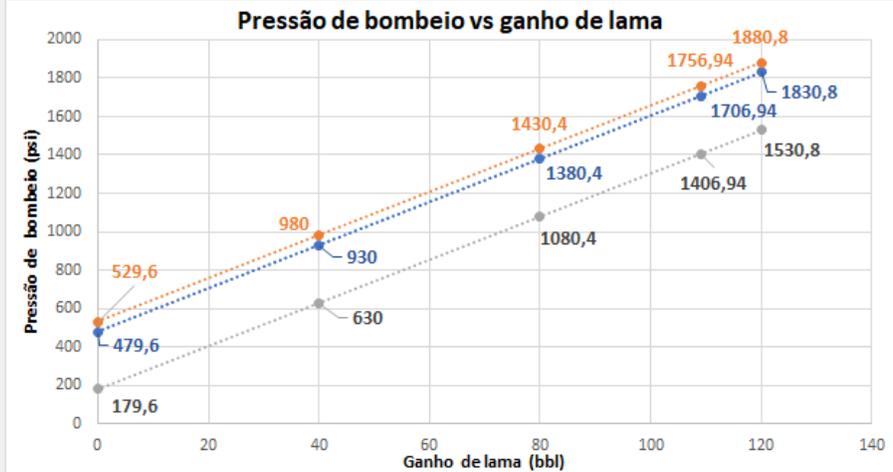
Fonte: Própria.

5 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Variando o comprimento da lâmina d'água

A primeira variável a ser analisada foi o efeito do comprimento da lâmina d'água na perda de carga na linha de choke, na pressão inicial de circulação e ganho de volume. Usou-se 3 valores de lâminas d'água: 500m, 1000m e 2000m. Para isso utilizou-se a metodologia descrita por SANTOS (2013). Todavia, em sua literatura, ele não menciona o instante em que o gás chegaria à superfície, impossibilitando saber o volume final do influxo. Para isso foi utilizado o simulador Dynamic Volumetric Method, qual seria possível obter tal informação.

Foi comparado as curvas desenvolvidas utilizando o JAVA com as geradas pelo simulador Dynamic Volumetric Method. Essa comparação foi feita a fim de perceber se os resultados obtidos seriam parecidos.



Perda de carga da linha de matar psi
Capacidade do poço bbl/m
Massa específica do fluido de perfuração lb/gal
SCIP Psi
Volume ganho bbl

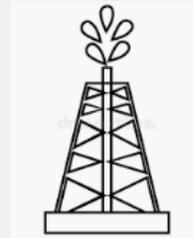


Figura 3: Interface gráfica para lâmina d'água de 500 metros.

Fonte: Própria.

O gráfico acima foi o gerado seguindo o passo a passo descrito na introdução do artigo, que foi retirada da literatura de SANTOS (2013). Nesse gráfico pode-se observar 3 retas paralelas. Sendo:

1. Reta azul: A reta gerada através da pressão inicial de circulação da kill line.
2. Reta laranja: A reta gerada através da pressão inicial de circulação da kill line, acrescida de 50 psi que seria a margem de trabalho.
3. Reta cinza: A reta gerada através da pressão na linha do choke.

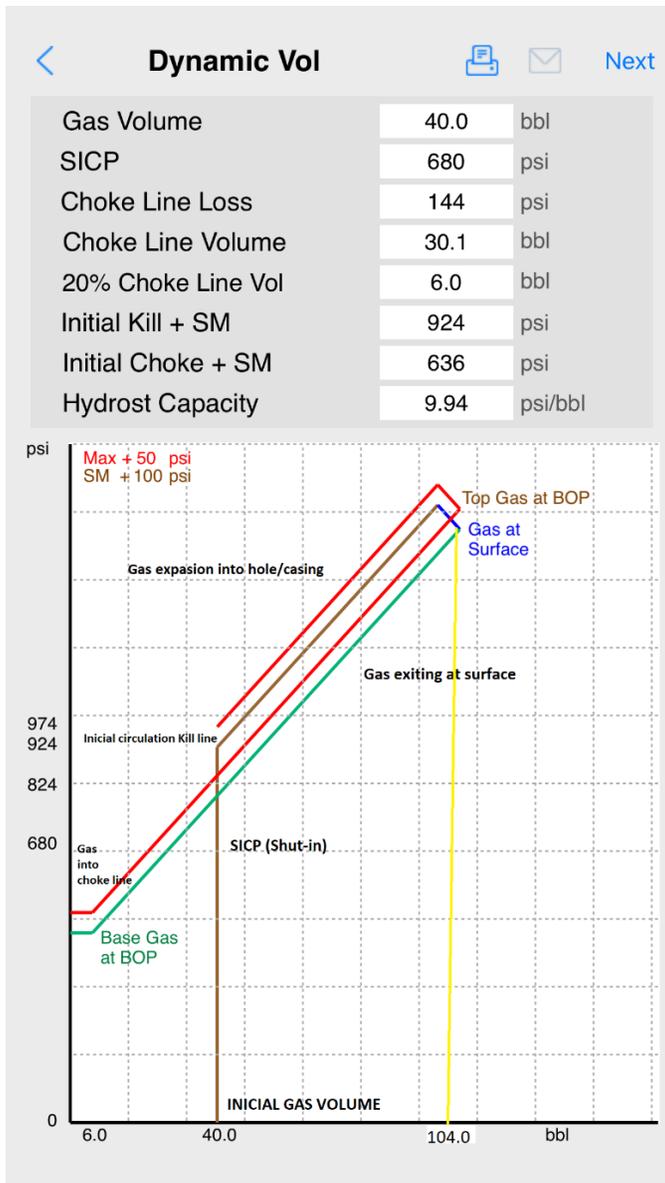


Figura 4: Gráfico para lâmina d'água de 500 metros, gerado através do simulador Dynamic Volumetric Method.

Fonte: Dynamic Volumetric Method App.

Após comparar os dois resultados, observou-se que em ambos os gráficos a pressão da linha de choke era inferior à da SICP, conforme visto em teoria. No gráfico da figura 3, a pressão no choke no início da circulação é de 630 psi, observando o gráfico da figura 4, o valor encontrado foi de 634 psi, próximo ao do gráfico da figura 3.

Já o valor inicial da pressão no gráfico da figura 3 é igual a 930 PSI e no da figura 4 é de 924 psi, ambos os resultados bastantes próximos. Ambos os gráficos devem ser analisados da esquerda para a direita para o momento que o kick está expandido para superfície e da esquerda para a direita quando está sendo removido do poço. Pode-se constatar que quando o topo do kick chega até a superfície ele está com um volume de 104 bbl, ou seja utilizando o método volumétrico dinâmico teve um aumento de 64 bbl no volume do kick.

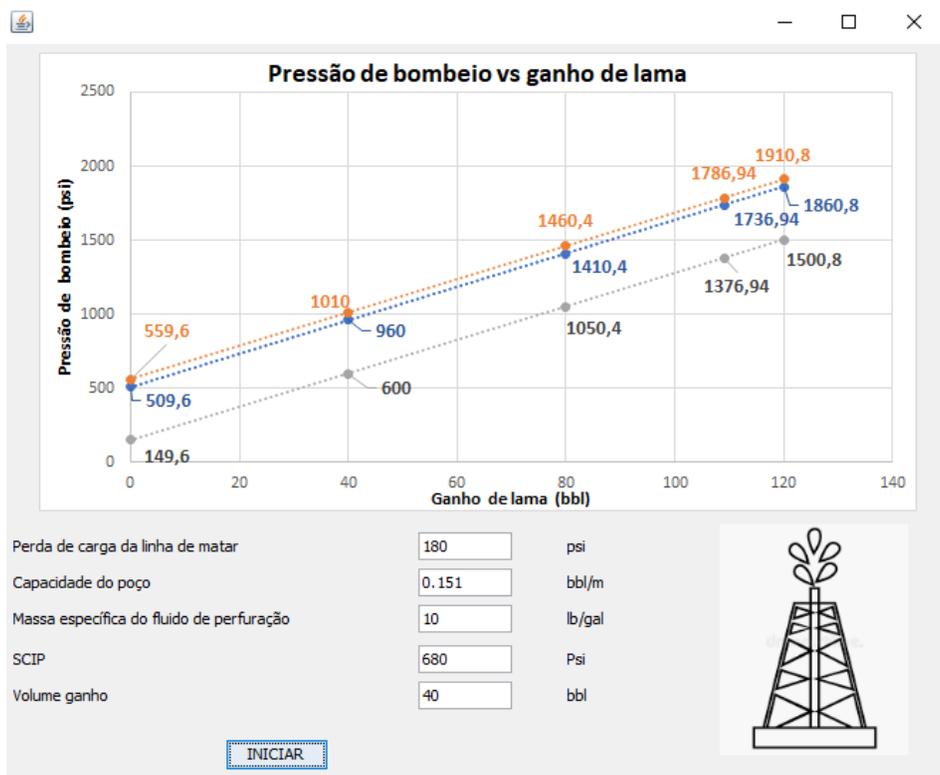


Figura 5: Interface gráfica para lâmina d'água de 1000 metros.

Fonte: Própria.

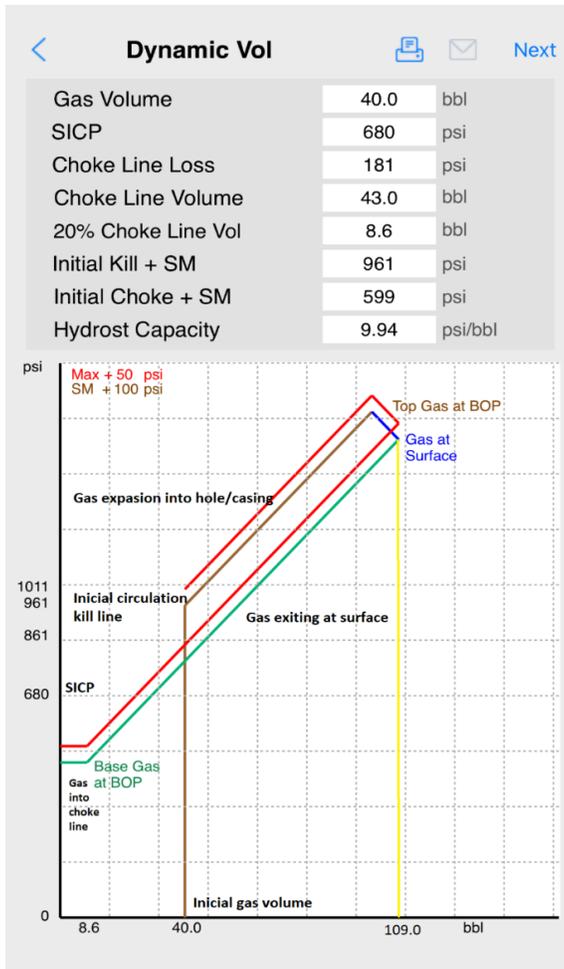


Figura 6:Gráfico para lâmina d'água de 1000 metros, gerado através do simulador Dynamic Volumetric Method.

Fonte: Dynamic Volumetric Method App.

Já quando a lâmina d'água aumenta, pode-se observar que a o comprimento da choke line irá aumentar, aumentando também a perda de carga e por consequência a pressão inicial de circulação. Nesse caso quando o topo do kick chega à superfície ele está com um volume de 108 bbl, ou seja, teve um aumento de 68 bbl no volume do kick.

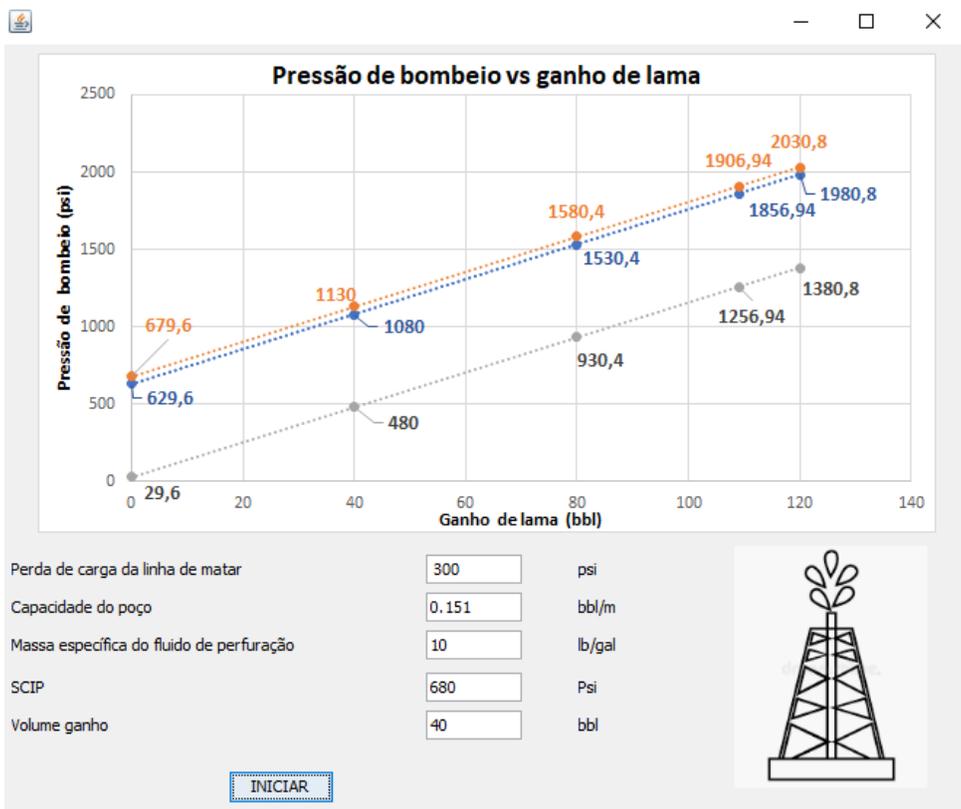


Figura 7: Interface gráfica para lâmina d'água de 2000 metros.

Fonte: Própria.

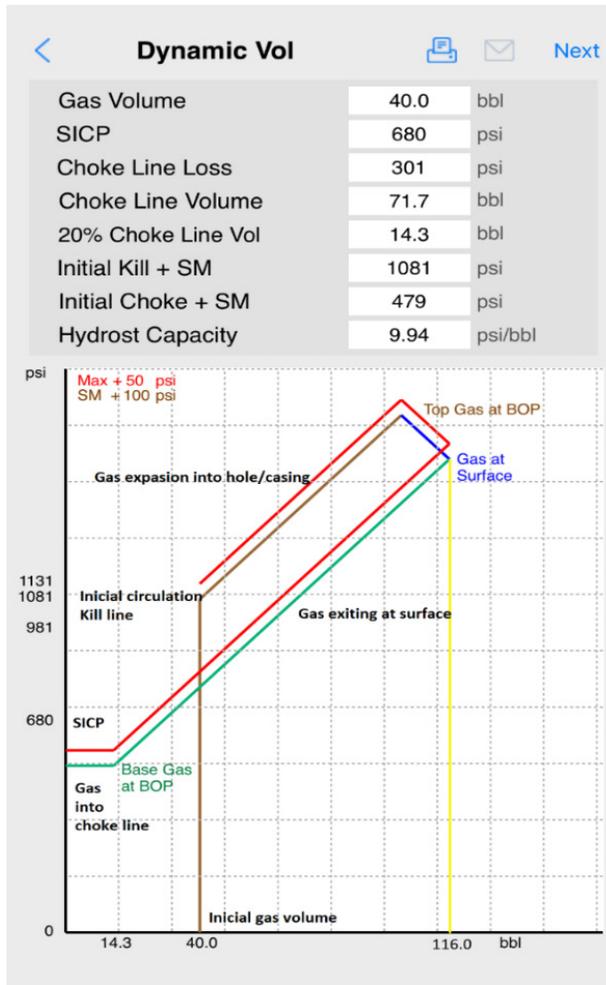


Figura 8: Gráfico para lâmina d'água de 2000 metros, gerado através do simulador Dynamic Volumetric Method.

Fonte: Dynamic Volumetric Method App.

No terceiro caso analisado observa-se as mesmas coisas constatadas na análise 2: A pressão inicial de circulação será maior, a perda de carga na linha de choke será maior e o ganho de influxo é bem maior quando comparado aos demais.

Observando o gráfico gerado no Dynamic Volumetric Method, também foi constatado que ao aumentar a lâmina d'água, a linha azul, que representa o instante em que o topo do gás chega ao BOP e posteriormente a superfície, aumenta. Isso se deve ao aumento da linha de choke, que por consequência, vai aumentar o tempo que esse gás chegará à superfície.

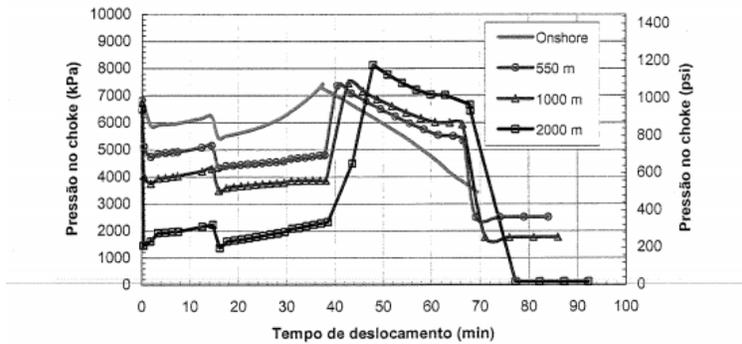


Figura 9: Gráfico obtido por NUNES (2002) em sua análise
 Fonte: NUNES (2002)

A figura 9, representa o gráfico obtido por NUNES (2002) através da sua análise, ele comparava como a pressão no choke iria variar com o tempo de deslocamento do kick em diferentes comprimentos de lâminas d'água. Comparando a figura 9, com os gráficos obtidos anteriormente através do java e com os gráficos obtidos através do simulador Dynamic Volumetric Method, pode-se constatar que os resultados obtidos foram os mesmos. No gráfico gerado por NUNES (2002), pode-se observar também que com o aumento da lâmina d'água, a pressão no choke irá diminuir e o tempo de remoção do kick irá aumentar.

Por fim, a influência da lâmina d'água fica evidenciadas pelos gráficos. Com o sucesso do simulador elaborado e com análise feita no simulador Dynamic Volumetric Method, pode-se notar que:

1. A pressão inicial de circulação pela kill line aumenta conforme o aumento da lâmina d'água. Isso se deve ao fato da perda de carga na linha de choke aumentar, sendo necessário uma maior contrapressão na kill line.
2. Devido à perda de carga aumentar, também teremos que a pressão no choke, durante a circulação pelo espaço anular é reduzida com o aumento da lâmina d'água.
3. Entende -se também que quanto maior for a lâmina d'água, maior será o volume do kick dentro do poço e maior será o comprimento da linha de choke. Fato que influencia no ganho de lama durante o processo. Com isso, o tempo para remover o kick será maior.
4. Por fim, pode-se observar que o instante em que o topo do gás chega ao BOP e posteriormente a superfície, aumenta. Isso se deve ao aumento da linha de choke, que por consequência, gera um aumento no tempo que esse gás chegará até a superfície.

5.2 Variando o volume inicial do kick

A segunda análise foi feita apenas utilizando o simulador Dynamic Volumetric Method, pois o objetivo era analisar o comportamento do kick quando seu volume inicial era maior. Os casos analisados foram para influxos de 20 bbl, 40 bbl e 60 bbl, todos em poços com as mesmas características e lâmina d'água de 500 metros.

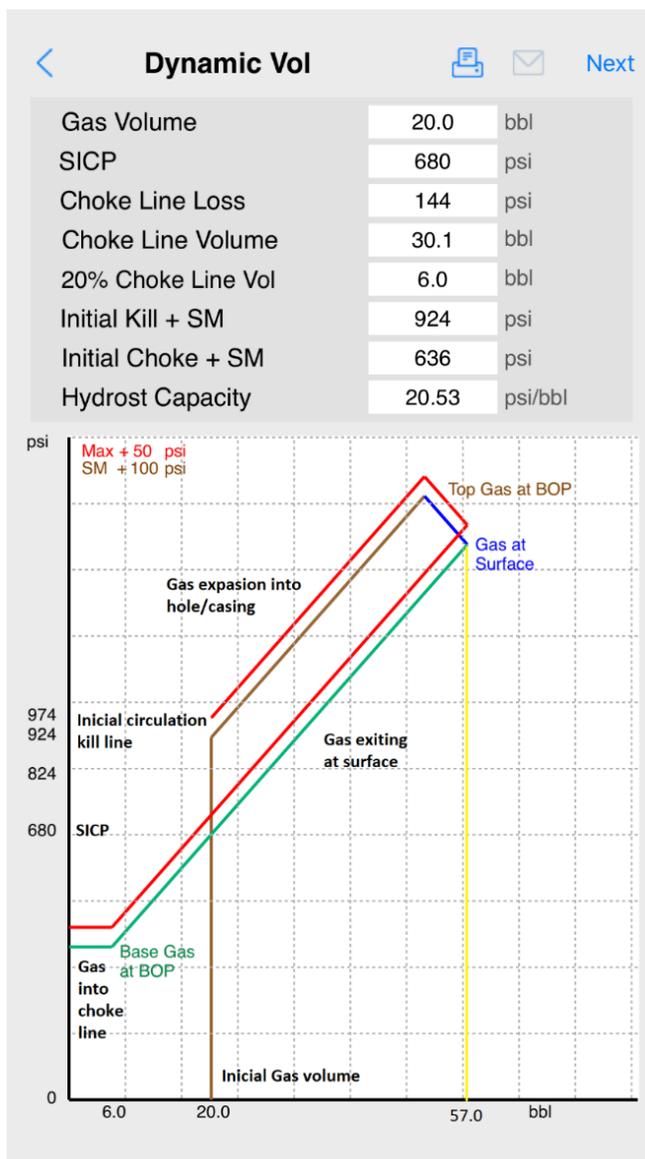


Figura 10: Poço com 20 bbl de influxo.

Fonte: Simulador Dynamic volumetric Method.

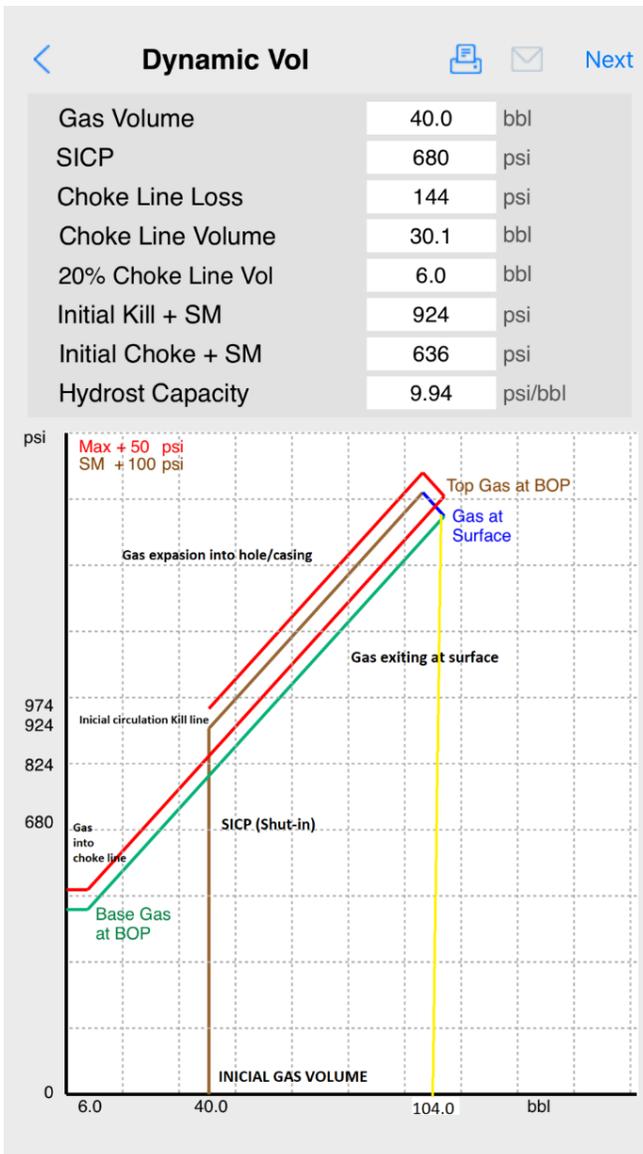


Figura 11: Poço com 40 bbl de influxo.

Fonte: Simulador Dynamic volumetric Method.



Dynamic Vol



Next

Gas Volume	60.0	bbl
SICP	680	psi
Choke Line Loss	144	psi
Choke Line Volume	30.1	bbl
20% Choke Line Vol	6.0	bbl
Initial Kill + SM	924	psi
Initial Choke + SM	636	psi
Hydrost Capacity	9.94	psi/bbl

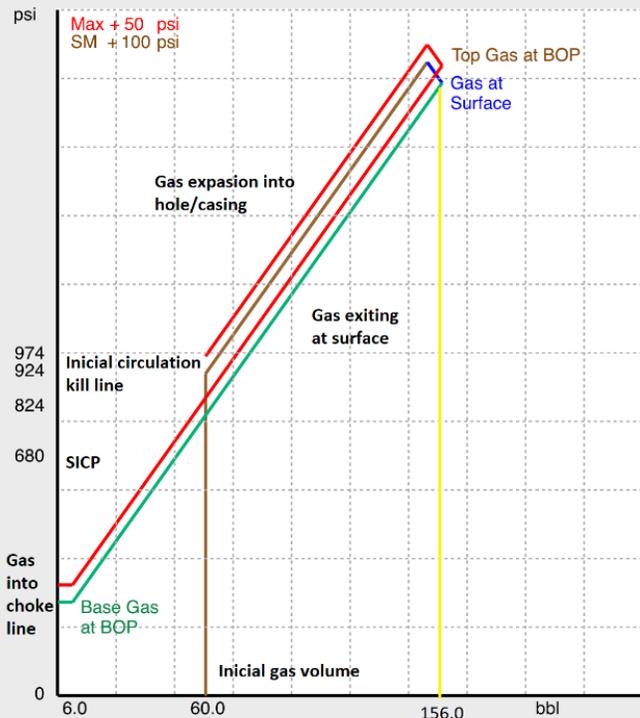


Figura 12: Poço com 60 bbl de influxo.

Fonte: Simulador Dynamic volumetric Method.

Volume inicial do influxo (bbl)	Ganho de volume (bbl)
20	37
40	64
60	96

Tabela 2: Ganho de lama em cada caso.

Fonte: Própria.

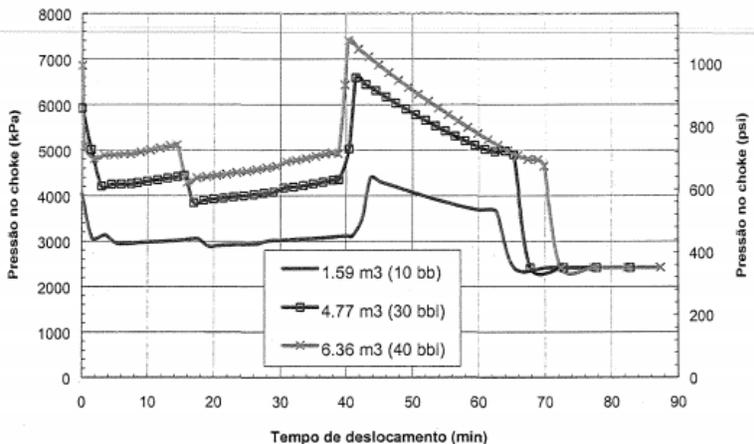


Figura 13: Gráfico gerado pela análise de NUNES (2002)

Fonte: NUNES (2002).

Outro fator que foi constatado com os gráficos gerados através do simulador e observados na literatura de NUNES (2002) é que quanto maior for o volume inicial, maior será o tempo de deslocamento desse kick.

O gráfico criado por NUNES (2002) mostra o efeito do volume inicial do kick. Nota-se um perfil de pressões bem maiores no kick de maior volume, é possível observar no simulador esse aumento de perfil de pressões. Quanto maior é o volume inicial do kick, pode-se notar que maior é a pressão no choke durante a expansão do gás.

Por fim, a influência do volume inicial dos kick fica evidenciadas pelos gráficos. Notando-se que:

1. Quanto maior for o volume inicial do kick. Maior será o volume ganho durante a expansão do gás até a superfície.
2. Nota-se que quanto maior o volume inicial do influo, maior será o perfil de pressões.
3. Quanto maior o volume do kick, maior será o tempo de remoção, pois o volume final do influxo será maior.

6 | CONCLUSÃO

Os resultados obtidos através das simulações feitas tanto no JAVA quanto no simulador Dynamic Volumetric Method, foram satisfatórias. Tanto na análise da influência da lâmina d'água quanto na análise da variação do volume inicial do kick, os resultados corresponderam aos encontrados na literatura de NUNES (2002).

Observou-se que quanto maior a lâmina d'água, maior é a dificuldade de controle de poço, pois as perdas de carga aumentam, a pressão no choke é reduzida e maior será o volume do kick dentro do poço. Com isso, maior é a contrapressão necessária na kill line e maior será o tempo de remoção do kick. Ou seja, maiores a chance de um blowout ocorrer.

Na segunda análise, foi possível constatar que a continuidade da utilização do modelo depende do volume inicial do kick. Se o tempo para detectar esse influxo e fechar o poço for muito elevado, o volume inicial do gás ou óleo será maior, aumentando as chances de um blowout.

Para as próximas pesquisas, nota-se a importância de avaliar o comportamento do kick dentro do poço em função do tempo, para incrementar no simulador elaborado a possibilidade de detectar o instante em que esse influxo chegará à superfície.

REFERÊNCIAS

AVELAR, C. S. **Modelagem do Controle de Poços por Diferenças Finitas**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2008. 117p. Dissertação (Mestrado).

HUA LING, NINA KURNIASIH PRATOMO JUWONO, WEI SUONG TEO, RUIRUI LIU, SUSANNA SU JAN LEONG AND MATTHEW WOOK CHANG. **Engineering transcription factors to improve tolerance against alkane biofuels in Saccharomyces cerevisiae**, 2015.

Le BLANC, J. L. And LEWIS, R. L. **A mathematical model of a gas kick**. *Journal of Petroleum Technology*, p. 888-898, Aug., 1968.

NEGRÃO, A. F. **Controle de Poço em Águas Profundas**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 1989. 102 p. Dissertação (Mestrado).

NICKENS, H. V. **A Dynamic Computer Model of a Kicking Well**. *SPE Drilling Engineering*, p 158-173, June 1987.

NUNES, J. O. L.: **Estudo do Controle de Poços em operações de Perfuração em Águas Profundas e Ultra Profundas**, UNICAMP, Dissertação de mestrado, 2002;

OHARA, S. **Improved Method for Selecting Kick Tolerance During Deepwater Drilling Operations**. Baton Rouge: Louisiana State University, 1995. 152 p. Tese (Doutorado).

OLIVEIRA, P. C.P., ARRUDA, A. M. P., NEGRÃO, A. F., **Kicks- Prevenção e Controle**, Petrobrás, publicação interna, SEDES, 1988.

SANTOS, O. L. A, MENDES, J. R. P., RIBEIRO, P. R., **The Development and Application of a Software to Assist the Drilling Engineer during Well Control Operations in Deep and Ultra Deep Waters**. SPE 81184, SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference, 2003.

SANTOS, O L. A. **A Mathematical Model of a Gas Kick When Drilling in Deep Waters**. Colorado School of Mines, 1982. 76 p. Dissertação (Mestrado).

SANTOS, O. L. A. **Segurança de Poço na Perfuração**. Volume 1. Editora Blucher. 2013.

SHIHUI, S.; TIE, Y.; XUELIANG, B.; XUN, C.; NAN, Z. **Wellbore Flow Analysis of a Gas Kick Well During Shut-In**. The Open Fuels & Energy Science Journal, vol. 8, pp. 63-67, 2015.

ZUBAIRY, RAHEEL. **Gas Kick Mechanistic Model**. Master's thesis, Texas A & M University, 2014.

UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO MULTICRITÉRIO NO PROCESSO DE DECISÃO DE PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NA AMAZÔNIA AZUL

Data de aceite: 01/02/2021

Andrezza de Oliveira Agábito

UFF/PURO

Dalessandro Soares Vianna

UFF/PURO

Marcilene de Fátima Dianin Vianna

UFF/PURO

Edwin Benito Mitacc Meza

UFF/PURO

RESUMO: À Marinha do Brasil (MB) compete primordialmente a negação do uso do mar a qualquer concentração de forças inimigas que se aproxime do Brasil por via marítima. Para que essa missão seja cumprida, é necessário que a MB invite esforços tecnológicos, a fim de garantir a soberania no que tange a Zona Econômica Exclusiva brasileira, denominada Amazônia Azul. Esses avanços tecnológicos, impostos pelo ambiente operacional, bem como a necessidade do emprego de sistemas cada vez mais avançados em um cenário de recursos orçamentários restritos, torna a priorização dos projetos certos de suma importância. Como ferramenta de análise multicritério à decisão, o método AHP (Processo de Análise Hierárquica), desenvolvido na década de 70, é um dos mais utilizados por pesquisadores e gestores na atualidade. Este método possibilita a classificação e a comparação de critérios, que baseiam a tomada de decisão em problemas complexos. O presente artigo tem por objetivo a utilização do

método de AHP como uma ferramenta de auxílio multicritério à decisão de priorização de projetos de Ciência, Tecnologia e Inovação, em um Instituto Científico e Tecnológico da Marinha do Brasil. Foram avaliados 8 projetos de Pesquisa e Desenvolvimento, considerando 2 critérios e 15 subcritérios de escolha para a determinação da prioridade final de cada um dos projetos com relação ao objetivo final. Como resultado constatou-se que o método é bastante útil para a seleção e priorização de projetos.

PALAVRAS-CHAVE: Análise multicritério; priorização de projetos; Ciência, Tecnologia e Inovação.

ABSTRACT: In the Navy of Brazil (MB) competes primarily the denial of the use of the sea to any concentration of enemy forces approaching Brazil by sea. For this mission is fulfilled, it is necessary that the MB invite technological efforts in order to guarantee the sovereignty regarding the Brazilian Exclusive Economic Zone, called Blue Amazon. These technological advances, imposed by the operating environment and the need for the use of increasingly advanced systems in a scenario of limited budgetary resources, makes the prioritization of certain projects of paramount importance. As multi-criteria analysis tool to the decision, the AHP (Analytical Hierarchy Process), developed in the 70s, is one of the most used by researchers and managers today. This method enables the classification and comparison criteria, which are based decision making in complex problems. This article aims to use the AHP method as a multi-criteria decision support tool for prioritizing projects Science, Technology

and Innovation, in a Scientific and Technological Institute of the Navy of Brazil. We evaluated eight projects Research and Development, considering two criteria and 15 sub-criteria of choice for the determination of the final priority of each project with respect to the ultimate goal. As a result it was found that the method is useful for selecting and prioritizing projects.

KEYWORDS: Multicriteria analysis; prioritization of projects; Science, Technology and Innovation.

1 | INTRODUÇÃO

A partir da década de 70, o Estado tradicionalmente burocratizado, passou a ser questionado quanto aos seus aspectos administrativos, econômico e social. Segundo Castro (2006), as características do modelo burocrático, que tinham como os seus pilares os procedimentos rígidos, pautados a uma forte hierarquia e total separação entre o público e o privado já não mais atendiam as necessidades da administração pública, que passou por uma reformulação de conceitos, buscando um modelo de gestão visando a excelência administrativa e o foco no cidadão.

Concomitante a essa nova tendência mundial, no campo da indústria pesada, surge no Brasil a prática das técnicas de Gerenciamento de Projetos, nascida na Marinha Norte Americana no fim dos anos 50, durante o Projeto Polaris, para a criação de um submarino movido a energia nuclear (SABBAG, 2013).

No setor de defesa, devido aos avanços tecnológicos impostos pelo ambiente operacional bem como a necessidade do emprego de sistemas cada vez mais avançados em um cenário de recursos orçamentários restritos, a priorização dos projetos certos é de suma importância, exigindo cada vez mais das organizações líderes desses projetos o conhecimento de ferramentas que propiciem essa priorização de forma técnica, tendo em vista a existência de uma sociedade esclarecida e informada, que exige do governo resultados (ARNAUT *et al.*, 2012).

Segundo a Estratégia Nacional de Defesa, à Marinha do Brasil (MB) compete primordialmente a negação do uso do mar a qualquer concentração de forças inimigas que se aproxime do Brasil por via marítima. Para que essa missão seja cumprida, é necessário que a MB invista esforços tecnológicos, a fim de garantir a soberania no que tange a Zona Econômica Exclusiva brasileira, denominada Amazônia Azul.

Para que essa missão da MB seja cumprida, em um cenário de contingenciamento de recursos, a utilização de métodos e ferramentas de priorização de projetos se faz indispensável.

O presente artigo tem por objetivo a utilização do método de Processo de Análise Hierárquica (AHP) (SAATY, 2006), como uma ferramenta de auxílio multicritério à decisão de priorização de projetos de interesse da defesa, em um Instituto Científico e Tecnológico (ICT) da Marinha do Brasil.

2 | METODOLOGIA

Segundo Shimizu (2006), a tomada de decisão é um processo cognitivo, que tem por objetivo encontrar a alternativa mais eficiente/eficaz (levando-se em consideração uma série de critérios) dentre uma gama de possibilidades. Todo processo de tomada de decisão produz uma opinião ou um plano de ação, mas para que esse método seja o menos subjetivo, ele precisa estar pautado em uma metodologia matemática, porém o menos complexa possível.

Segundo Meyer (2003), simplificar a medição é a melhor solução, tendo em vista que todas as medidas são imperfeitas, o essencial é encontrar uma forma que traduza o que realmente importa e que conduza a um plano de ação eficiente. Segundo Saaty (2008), esse é o fundamento do método de análise hierárquica, o AHP (*Analytic Hierarchy Process*), o qual será utilizado neste trabalho. A Seção 2.1 tem por objetivo fazer uma breve apresentação do AHP.

2.1 O Método AHP

O método AHP é um método de análise multicritério à decisão, desenvolvido por Tomas Saaty na década de 70 e é um dos métodos mais conhecidos da atualidade (VARGAS, 2010; CARLI; DELAMAROB; SALOMONC, 2010). A ideia central desse método consiste na redução do estudo de sistemas a uma sequência de comparação aos pares, a fim de realizar o processo de tomada de decisão, minimizando suas falhas.

A utilização do AHP se inicia pela decomposição do problema em uma hierarquia de critérios (Figura 1), que serão analisadas e comparadas entre si, de modo independente (SAATY, 2008).

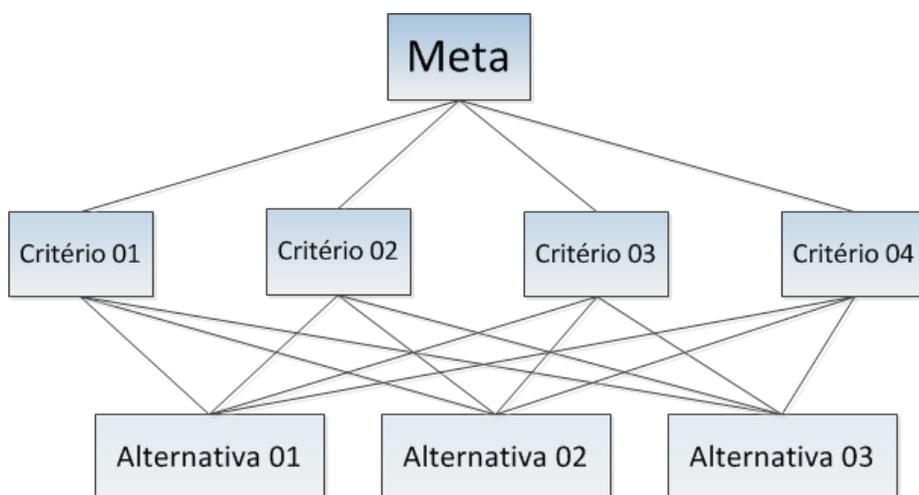


Figura 1 – Exemplo de hierarquia de critérios/objetos.

O AHP tem como o seu principal diferencial a capacidade de conversão de dados empíricos em modelos matemáticos. Os valores matemáticos serão processados e comparados. Para cada um dos fatores serão atribuídos pesos, para a avaliação dos elementos dentro da hierarquia definida.

Para a comparação entre os elementos, é mais comum a utilização da escala de importância proposta por Saaty (SAATY, 2005), atribuindo valores que variam entre 1 e 9, conforme apresentado na Tabela 1.

Escala	Avaliação Numérica	Recíproco
Extremamente preferido	9	1/9
Muito forte a extremo	8	1/8
Muito fortemente preferido	7	1/7
Forte a muito forte	6	1/6
Fortemente preferido	5	1/5
Moderado a forte	4	1/4
Moderadamente preferido	3	1/3
Igual a moderado	2	1/2
Igualmente preferido	1	1

Tabela 1 – Escala de relativa importância de Saaty (SAATY, 2005).

A partir da escala de Saaty, uma matriz de comparação é construída (Tabela 2).

	Critério 1	Critério 2
Critério 1	1	Avaliação Numérica
Critério 2	1/Avaliação Numérica (Recíproco)	1

Tabela 2 – Matriz comparativa (supondo que critério 1 domina o critério 2).

Após essa avaliação, é feita uma análise de coerência, e um vetor prioridade é obtido por meio do cálculo do maior vetor de cada matriz de comparação (SHIMIZU *apud* LAFETA *et al.*, 2014).

O vetor prioridade de cada alternativa é obtida por meio da média aritmética dos valores de cada critério, onde o somatório dos valores do vetor terá que obrigatoriamente totalizar 1. Para a verificação de inconsistência dos dados, é realizado o cálculo do maior autovalor da matriz, o qual é encontrado a partir do somatório do produto de cada elemento do vetor prioridade pelo total da respectiva coluna da matriz comparativa original (VARGAS *apud* LAFETA *et al.*, 2014).

Por fim, Saaty (2006) sugere o cálculo da taxa de consistência (CR) para afirmar se a matriz apresenta consistência, o qual deve ser de até 10%.

3 I PRIORIZAÇÃO DOS PROJETOS DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (C,T&I)

A carteira de projetos da organização em questão deve estar alinhada com o planejamento estratégico organizacional e com sua competência, bem como com os objetivos estratégicos em C,T&I da Marinha do Brasil. Sendo assim, a tomada de decisão em relação ao portfólio de projetos é uma ação estratégica, que determina as características favoráveis antes que um projeto seja selecionado (CLELAND; IRELAND, 2007).

Segundo Kerzner (2006), o gerenciamento da carteira de projetos de uma organização deve envolver 4 processos: (i) primeiramente, deve-se identificar os projetos; (ii) posteriormente executar uma análise de viabilidade; (iii) em seguida, selecionar o projeto; e (iv) por fim, avaliar o posicionamento estratégico dos projetos selecionados.

Neste trabalho, o método AHP é utilizado para a priorização de projetos, o qual deve levar em consideração o posicionamento estratégico de cada um deles.

3.1 Descrição do problema

O problema a ser apresentado neste trabalho diz respeito a carteira de projetos de um Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) da Marinha do Brasil, que possui contratos de pesquisa e desenvolvimento em ciências do mar, com organizações da própria MB ou governamentais, além de organizações privadas.

A problemática dos recursos se refere às verbas orçamentárias, ou seja, às verbas governamentais, que anualmente sofrem contingenciamentos, e não cobrem os custos de todos os projetos do portfólio.

Deve-se ressaltar que os projetos são de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), sendo uma análise cautelosa de extrema importância, tendo em vista que a interrupção ou o cancelamento de determinados projetos acarretariam na perda de todo o trabalho desenvolvido até o presente momento. Esses projetos possuem cronogramas de 4 a 10 anos, devido à complexidade das pesquisas desenvolvidas. No entanto, as verbas são distribuídas anualmente, e os recursos devem ser investidos no exercício fiscal referente ao ano do comprometimento do recurso.

3.1.1 Aplicação do Método AHP

Neste trabalho foi aplicado o método AHP clássico, sendo utilizado o Excel e o sistema “AHP Online Calculator” (<http://bpmmsg.com/ahp-online-calculator/>) para gerar os resultados e verificar a consistência.

Os critérios foram estabelecidos a fim de atender os objetivos contidos no Plano de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Marinha (PDCTM), Estratégia Nacional de Defesa, Estratégia Nacional de C,T&I e o Planejamento Estratégico Organizacional da ICT em questão.

A avaliação par a par dos critérios foi realizada executadas por 5 oficiais superiores, sendo um da assessoria de qualidade, dois da assessoria estratégica e dois oficiais pesquisadores que serviram por muitos anos na ICT, mas que atualmente estão em outras ICTs, sendo assim possuem conhecimento mas não possuem envolvimento com os projetos.

3.1.1.1 Estrutura hierárquica

Foram selecionados 2 critérios para o primeiro nível, e mais 15 critérios em um segundo nível, conforme ilustra a Figura 2.

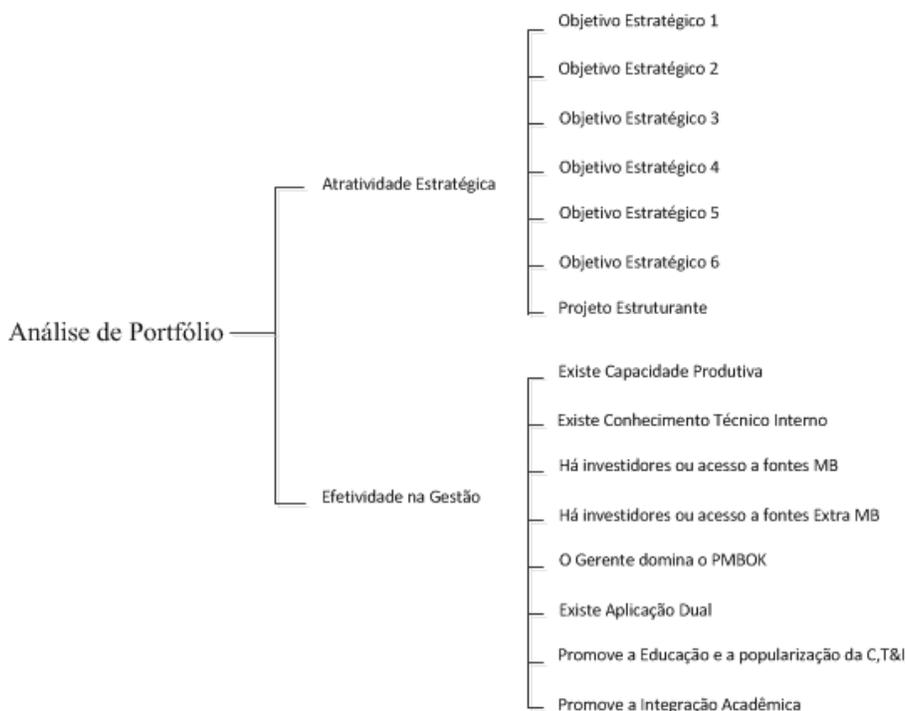


Figura 2 – Hierarquia de Critérios para seleção e priorização de projetos

Para o primeiro nível foram elencados os critérios de “Atratividade Estratégica” e “Efetividade na Gestão”. O primeiro critério é composto por 7 subcritérios, que tem por objetivo atribuir valor aos projetos quanto a sua importância estratégica. O segundo critério diz respeito à capacidade de gerir o projeto, e é composto por outros 8 subcritérios.

Os subcritérios referentes ao critério “Atratividade Estratégica” são:

Objetivo Estratégico 1 do PDCTM: contribui para a nacionalização dos sistemas, dos equipamentos e dos materiais;

Objetivo Estratégico 2 do PDCTM : busca do domínio do conhecimento, incluindo a capacitação de recursos humanos, bem como a atualização da infraestrutura tecnológica das ICT da MB;

Objetivo Estratégico 3 do PDCTM: gerencia o Sistema de Ciência e Tecnologia da Marinha do Brasil (SCTMB) utilizando modelo de gestão que busque continuamente o aumento da eficiência, da eficácia e da efetividade nas atividades do Sistema;

Objetivo Estratégico 4 do PDCTM: estabelecimento de um ambiente favorável à inovação e à competitividade industrial;

Objetivo Estratégico 5 do PDCTM: disseminação das atividades de CT&I, contribuindo para o aumento da visibilidade da MB perante a sociedade;

Objetivo Estratégico 6 do PDCTM: proteção da propriedade intelectual de CT&I; e

Projetos Estruturantes: Projetos de P&D nas áreas de Acústica Submarina ou Biotecnologia Marinha.

Os subcritérios referentes ao critério “Efetividade na Gestão” são:

Existe Capacidade Produtiva: A ICT possui capacidade de homem/hora, material e estrutural para executar o projeto;

Existe Conhecimento Técnico Interno: O conhecimento técnico é da ICT;

Há investidores ou acesso a fontes MB: Existem recursos orçamentários (governamentais);

Há investidores ou acesso a fontes Extra-MB: diz respeito a existência de Instituições privadas e/ou agências de fomento (FAPs, CNPq, FINEP);

O Gerente domina o PMBOK: atendendo as Ordens e Recomendações do Comandante da Marinha de 2014 (ORCOM), os projetos da MB deverão ser gerenciados conforme as boas práticas de Gerenciamento contidas no PMBOK;

Existe Aplicação Dual: desenvolvimento de projetos de pesquisa de aplicação dual, conforme a recomendação de otimização dos esforços em C,T&I para a Defesa contidas na Estratégia Nacional de Defesa;

Promove a Educação e a Popularização da C,T&I: Conforme a Estratégia Nacional de C,T&I, no intuito de promover a divulgação da C,T&I entre a população em geral, e em particular os jovens; e

Promove a Integração Acadêmica: Promover maior integração e participação dos setores civis e governamentais nas discussões dos temas ligados à defesa, assim como

a participação efetiva da sociedade brasileira, por intermédio do meio acadêmico e de institutos e entidades ligadas aos assuntos estratégicos da defesa (Estratégia Nacional de Defesa).

4 | RESULTADOS OBTIDOS

Os projetos em questão são projetos que recebem recursos orçamentários destinados a pesquisas de C,T&I para a Marinha do Brasil. Tendo em vista a confidencialidade, os projetos são nomeados numericamente de 1 a 8.

Os Gráficos de 1 a 3 são referentes aos dois primeiros níveis da árvore hierárquica proposta, o primeiro referente aos dois critérios iniciais, e os outros dois são referentes aos subcritério relacionados com os dois critérios iniciais, sendo o Gráfico 2 referente aos subcritérios do Critério “Atratividade Estratégica” e o Gráfico 3 referente aos subcritérios do Critério “Efetividade na Gestão”.

Nessa segunda etapa da avaliação par a par dos subcritérios, foi determinado a importância relativa entre eles e o seu peso. Após a determinação dos pesos dos subcritérios, foram avaliados par a par todos os projetos candidatos em relação a cada subcritério (Gráficos 4 e 5).

O Gráfico 6 apresenta a priorização final resultante do processo. Considerando que os quatro primeiros projetos são “Projetos Estruturantes”, ou seja, projetos de P&D em Acústica Submarina e Biotecnologia Marinha, pode-se afirmar que a escolha dos critérios e a avaliação dos participantes estão coerentes com o Planejamento Estratégico Organizacional da ICT em questão.

Todos os resultados obtidos apresentaram consistência a baixo de 10%.

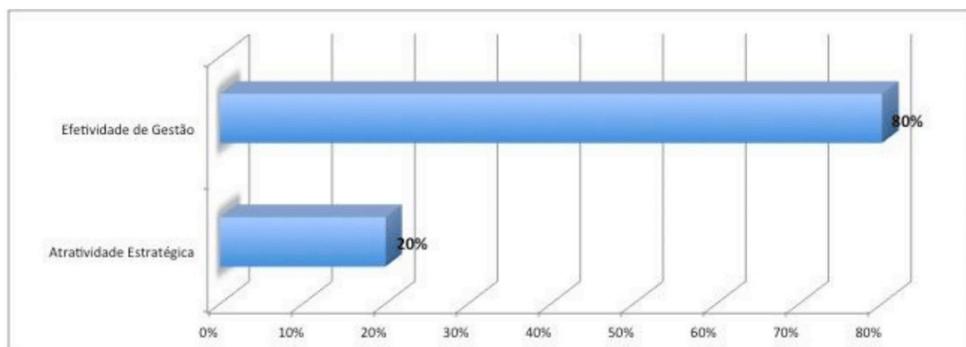


Gráfico 1 – Resultado de prioridade para os dois primeiros critérios.

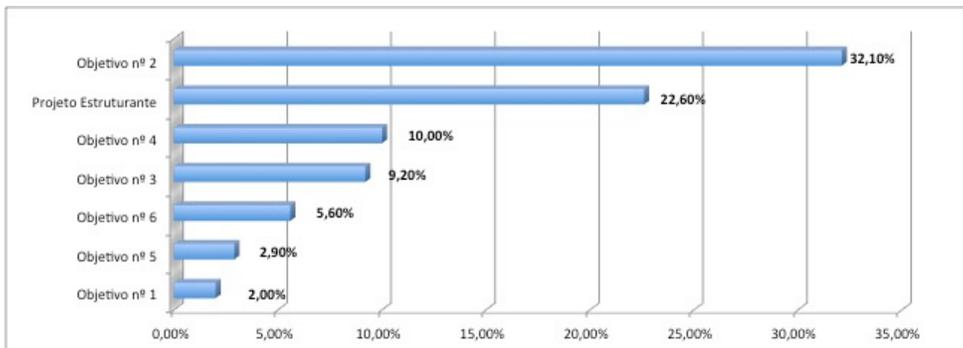


Gráfico 2 – Resultado de prioridade para os subcritérios da Atratividade Estratégica.

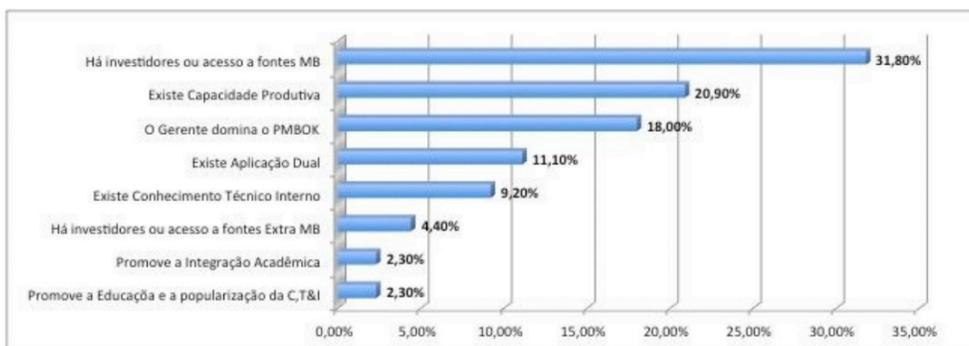


Gráfico 3 – Resultado de prioridade para os subcritérios da Efetividade na Gestão.

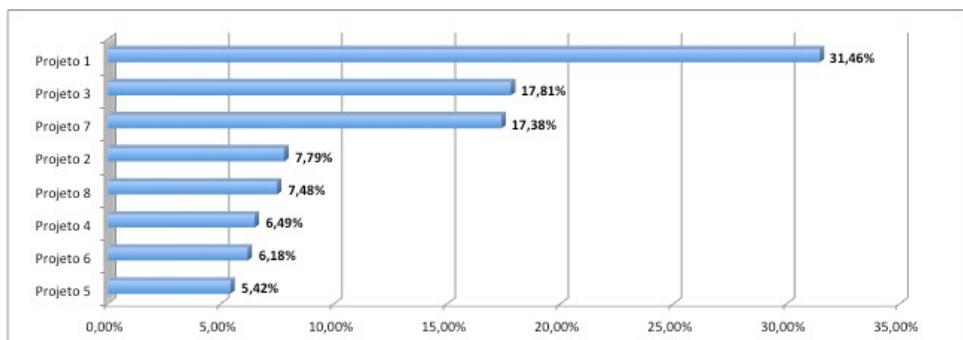


Gráfico 4 – Resultado de prioridade para os projetos segundo o critério Atratividade Estratégica.

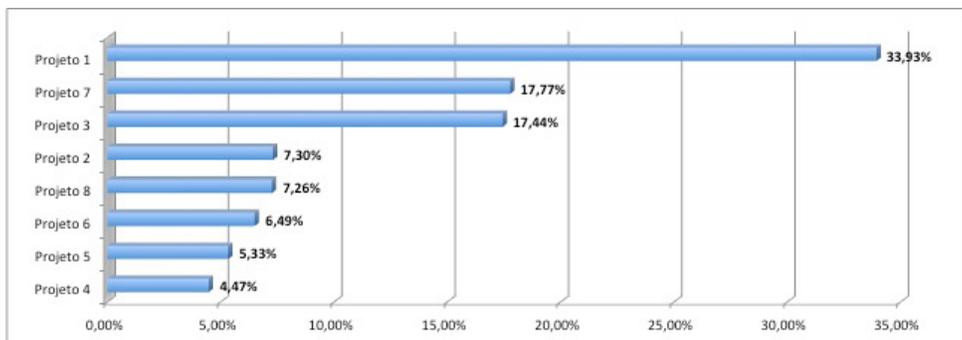


Gráfico 5 – Resultado de prioridade para os projetos segundo o critério Efetividade na Gestão.

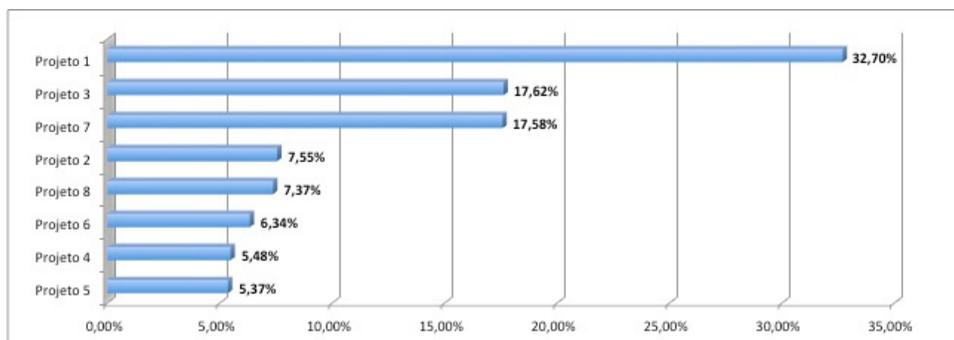


Gráfico 6 – Resultado final de prioridade para os projetos.

5 I CONCLUSÃO

O método AHP se mostrou uma ferramenta eficaz na priorização e seleção de projetos, mesmo levando-se em consideração um número relativamente grande de subcritérios abordados.

Outro fator primordial foi a adesão de militares chaves na avaliação par a par dos critérios e subcritérios, pois a tomada de decisão adequada precisa ser consistente e coerente com os resultados organizacionais. No entanto, se o número de projetos fosse maior, seria mais apropriado a utilização de software especializado.

Vale ressaltar que o método consiste em uma percepção matemática, e que não se pode esquecer que a decisão sobre um portfólio é fruto de negociação, de aspectos humanos e de análises estratégicas, sendo assim, não deve ser considerada uma verdade universal, e sim uma ferramenta de assessoria.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se aplicar o método em um estudo de caso para se verificar as dificuldades encontradas na prática.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho só pode ter sido concluído devido a participação durante as comparações par a par dos critérios, em diferentes níveis hierárquicos da árvore proposta, graças aos seguintes oficiais:

CMG (Ref) Dick Silveira de Mello, CMG (Ref) Frederico Corner M. Bentes, CMG (RM1- T) David Savi Canabarro, CMG (RM1 - T) Lucia Artusi e CMG (RM1 - Cd) Gustavo Aurélio Garcia.

REFERÊNCIAS

- [1] ARNAUT, Bruno Morato et al. **Multimetodologias na Identificação, Seleção e Priorização de Projetos de P&D no Setor de Defesa**. 2012. Disponível em: <http://www.fcmmfpep.org.br/disciplinas/turma1/MB-741/Aula01/Grupo_9_AHP_Ratings.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2015.
- [2] SABBAG, Paulo Yazigi. **Gerenciamento de Projetos e Empreendedorismo: Criação e Viabilidade de Projetos e Gerenciamento de Projetos**. São Paulo: Saraiva, 2013. 226 p.
- [3] CASTRO, Rodrigo Batista de. **Eficácia, Eficiência e Efetividade na Administração Pública**. 2006. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/enanpad/2006/dwn/enanpad2006-apsa-1840.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.
- [4] SHIMIZU, T. *Decisão nas Organizações*. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2006.
- [5] KERZNER, H. **Gestão de Projetos: as melhores práticas**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- [6] MARINHA DO BRASIL. **SecCTM-611: O Plano de Desenvolvimento Científico-Tecnológico e de Inovação da Marinha**. Brasília: Marinha do Brasil, 2014.
- [7] MINISTÉRIO DA DEFESA. **Decreto N° 6.703: Estratégia Nacional de Defesa**. Brasília: Ministério da Defesa, 2008.
- [8] MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Balanco das Atividades Estruturantes do MCTI 2011: Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação**. Brasília: Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação, 2012.
- [9] Priorização de Projetos de TIC para área de E&P em uma Empresa de Energia Utilizando o Método AHP, 10., 2014, Rio de Janeiro. **Priorização de Projetos de TIC para área de E&P em uma Empresa de Energia Utilizando o Método AHP**. Rio de Janeiro: Cneg, 2014. 17 p. Disponível em: <<http://www.mesc.uff.br/publicacoes/cnegricardofederico.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2015.
- [10] PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI). **A guide to the Project management body of knowledge (PMBOK)**. 5. ed. Maryland, 2012.
- [11] Saaty, T.L. **Decision making with the analytic hierarchy process**, *International Journal of Service Sciences*, Vol.1, No1, pp. 83-97, 2008.

[12] Saaty, T.L. **Rank from comparisons and from ratings in the analytic hierarchy/network process.** *European Journal of Operational Research*, v. 168. N.1, 557-5570, 2006.

[13] VARGAS, R. V. Utilizando a programação multicritério (Analytic Hierarchy Process – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio. In: PMI GLOBAL CONGRESS, 2010, [Washington, DC]. **Proceedings...** [Washington, DC]: PMI, 2010. P1-22.

IMPLANTAÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM COMPLEXO ALIMENTÍCIO INDUSTRIAL

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 25/11/2020

Yuri de Oliveira Godoy

Engenheira Mecânico, pelo Instituto Federal de Goiás
Goiânia – GO
<http://lattes.cnpq.br/4779899273175321>

Aldo Muro Júnior

Professor Titular da Coordenação de Engenharia Ambiental e Sanitária – IFG
Goiânia – GO
<http://lattes.cnpq.br/4399910242348015>

RESUMO: Utilizando técnicas de Produção Mais Limpa (P+L) foi possível estabelecer parâmetros para mensurar o nível de impacto ambiental do Clube de Engenharia de Goiás (CENG), bem como estabelecer medidas para mitigação desses impactos e redução do custo de operação do local. Foram analisados todos os tipos de resíduos provindos do setor alimentício produzidos *in loco*. Para estabelecer medidas quantitativas e qualitativas de avaliação, todos os sobressalentes gerados foram classificados de acordo com estado, massa, possíveis danos ambientais que podem causar e possibilidade de reintegração ao processo produtivo. Com esses dados levantados, foi possível, a partir do método hipotético dedutivo, definir ações para melhoria do processo de produção de alimentos no local. A nova política ambiental e economicamente correta acabou se expandindo para o setor de

administração, setor de aquisição de suprimentos e para o setor de alienação de bens e descartes de patrimônio. Essa mudança cultural na forma de organizar modificou relações entre todos os *stakeholders* do local, sendo eles funcionários, diretores, associados e fornecedores, para com o clube. As mudanças na forma de tratamento dos resíduos, na organização dos suprimentos e como utilizá-los e na educação ambiental proporcionou um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) integrado com o planejamento estratégico da associação, trazendo a preocupação ambiental não mais como um custo a mais para o empreendimento, mas como forma de melhoria de eficiência, redução de custos e agregação de valor ambiental para o CENG. Os resultados obtidos por meio das práticas de P+L em complexo industrial alimentar do Clube de Engenharia é replicável a qualquer estabelecimento congênera. A conscientização e políticas de melhor eficiência, reinserção de poluentes de volta ao processo produtivo e planejamento de novos projetos incluindo o SGA é tendência para qualquer desenvolvimento de produto e/ou prestação de serviço.

PALAVRAS-CHAVE: Produção Mais Limpa, sustentabilidade, educação ambiental, reuso.

IMPLEMENTATION OF CLEANER PRODUCTION IN INDUSTRIAL FOOD COMPLEX

ABSTRACT: Using Cleaner Production (P+L) techniques, it was possible to establish parameters to measure the level of the environmental impact of the Clube de Engenharia de Goiás (CENG), as well as to develop measures to mitigate these

impacts and reduce the site's operating cost. All types of residues from the food sector produced on-site were analyzed. The establish quantitative and qualitative evaluation measures, all the spares generated were classified according to state, mass, possible environmental damage they may cause and the possibility of reintegration in the production process. With these data, it was possible, from the hypothetical deductive method, to define actions to improve the food production process on site. The new environmental and economically correct policy ended up expanding to the administration sector, the supply acquisition sector and the asset disposal and disposal sector. This cultural change in the way it was organized changed relations between all the stakeholders of the site, being the employees, directors, members and suppliers, towards the club. The changes in the way waste are treated, in the organization of supplies and how to use them, and in environmental education provided an Environmental Management System (EMS) integrated with the association's strategic planning, bringing environmental concern no longer as an extra cost to the enterprise, but as a way of improving efficiency, reducing costs and adding ecological value to CENG. The results obtained through the P+L practices in the Food Industrial Complex of the Engineering Club are replicable to any similar establishment. The awareness and policies of better efficiency, reinsertion of pollutants back into the production process and planning of new projects including the EMS, is a trend for any product development and service provision.

KEYWORDS: Cleaner Production, sustainability, environmental education, reuse.

1 | INTRODUÇÃO

Grandes centros alimentícios produzem consideráveis quantidades de resíduos, tanto orgânicos como inorgânicos, que demandam bastante tempo para se deterioreem no meio ambiente. Esses materiais são geralmente destinados a aterros sanitários, sendo depositados de maneira incorreta no local, ocupando grande volume e reduzindo a vida útil do aterro, prejudicando células urbanas e agravando problemas de saúde difusos, pelos vetores que afetam indiretamente a saúde pública.

A exacerbada quantidade de resíduos gerados revela uma característica de muitos estabelecimentos focados na produção de alimentos: a ineficiência. Os resíduos são apenas uma parte dos suprimentos que não puderam ser aproveitadas no processo (CNTL, 2003). Demandam tratamento ou destinação posterior, podendo agregar custo ao produto, consequentemente, aumentando seu valor final.

A redução de resíduos é uma preocupação social, que deve ser tema de interesse difuso. Segundo a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, alicerçada pela Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), é dever de estabelecimentos públicos e privados promover a destinação final correta dos resíduos, fazendo-se uso da reutilização, reciclagem, compostagem e aproveitamento energético.

É possível minimizar o desperdício utilizando-se técnicas de Produção Mais Limpa – P+L. Essa estratégia de mitigação do impacto causado pelos produtos e produção no meio ambiente tem o foco principal em criar consciência da importância da prevenção da poluição, evidenciando os locais fontes de perdas e de emissões (FRESNER, 1998).

A implantação de P+L não deflagra ações pré-estabelecidas para reduzir a poluição pois estabelecimentos possuem diferentes estruturas e organização dos processos produtivos, cada um necessitando de medidas diferentes. Destarte, essa técnica consiste no estabelecimento de uma política prevencionista, baseada nas boas práticas ambientais, na conscientização dos *stakeholders*, na mitigação ou supressão das emissões de poluentes e de resíduos e, quando possível, reintegração dos sobressalentes que não puderam ser evitados, ao processo produtivo e na aplicação de um Sistema de Gestão Ambiental – SGA, integrado ao planejamento estratégico do estabelecimento.

O desenvolvimento sustentável de restaurantes e centros industriais alimentícios proporciona não somente a mitigação dos efeitos deletérios de materiais dispostos incorretamente no meio ambiente, como melhora, também, a relação do processo com a matéria-prima, utilizando-se de maneira apropriada os alimentos, energia e água na produção; agrega uma qualidade de certificação ecológica ao empreendimento (selo verde), característica cada mais vez mais buscada pelos consumidores hodiernamente (VILHENA et al, 2000).

2 I PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O local e objeto de estudo foi o Clube de Engenharia de Goiás (CENG), uma associação civil sem fins lucrativos. tem por objetivo unir profissionais e acadêmicos de Engenharia, Arquitetura¹, Agronomia e Geologia, possui um centro alimentício formado por uma cozinha industrial, restaurante, dois bares e área de churrasco, servindo refeições diariamente para associados, funcionários regulares e, eventualmente, prestadores de serviços. Uma das principais atrações do local é a gastronomia, com foco principal na tradicional feijoada servida em todos os sábados. É requerido, portanto, grande quantidade de suprimentos, conseqüentemente, gerando considerável quantia de resíduos alimentares (tais como orgânicos e embalagens). Isso fez com que o empreendimento fosse escolhido como local de implantação de P+L.

Foi realizado, inicialmente, um sistemático balanço entre entradas e saídas, para a parametrização de quais resíduos são gerados e suas respectivas fontes (FRESNER, 1998). Este processo possibilitou avaliar de maneira mais clara os locais onde o enfoque de trabalho seria maior. Apesar da área alvo do projeto ser o complexo alimentício, foi necessário o apoio de outros setores do Clube que, de forma direta e indireta participam do funcionamento da área alimentícia, como gerência, setor de aquisição e manutenção do CENG.

Foi realizado uma análise quantitativa dos resíduos advindos da cozinha e do consumo do restaurante e dos bares. Com o objetivo de caracterizar todos os sobressalentes gerados nesses locais, foi implantada a separação de todos os resíduos, segregando-os em

1 Os arquitetos ainda são aceitos no CENG, de balde a alteração da autarquia profissional *sui generis* (Conselho).

orgânicos, recicláveis (cada qual com sua qualidade) e óleo. Uma avaliação gravimétrica foi realizada diariamente para os resíduos orgânicos, destinada à definição do potencial para a criação de um sistema de compostagem local.

A compostagem é um processo de transformação de orgânicos em húmus e biofertilizante líquidos (materiais ricos em nutrientes utilizados como adubo em plantações e jardinagem) (EMBRAPA, 2005). Tanto no processo convencional, em cilindros, em leiras ou naquele em que são utilizadas minhocas (vermicompostagem), há necessidade de se utilizar matéria seca para viabilizar o processo, regulando a umidade do composto produzido e adicionando substâncias. Geralmente utilizam-se podas de jardinagem, aparas de grama ou serragem.

Para o equilíbrio da compostagem, por meio da matéria seca, foi avaliado o volume apara de grama e folhas providas da vegetação da área; para sua utilização no processo de P+L, incrementando-se o sistema de redução de resíduos em todo o Clube.

O óleo de cozinha utilizado para preparação de refeições para os funcionários (almoço e jantar) e no preparo de porções para os associados, resultou no volume de 20 litros de óleo residual, por semana. Toda essa quantia era destinada para o programa De Olho no Óleo, promovido pela Companhia de Saneamento de Goiás (SANEAGO). Cada litro do resíduo era revertido em R\$ 0,50 de desconto na conta de água da associação. Todavia, levando em consideração maior vantagem financeira e logística, passou-se a destinar o óleo à uma empresa privada que faz o refinamento do material, utilizando-o para produção de produtos de limpeza. Nessa nova negociação, cada litro de óleo correspondeu em R\$1,00 de retorno ao CENG, recebidos na forma produtos de limpeza, escolhidos pelo setor de aquisição de acordo com a necessidade do estoque e utilizados no próprio Clube de Engenharia.

Um dos principais resíduos observados no local foram os copos plásticos descartáveis, de elevado impacto ambiental, que tem como matéria-prima o poliestireno (sintetizado a partir do petróleo). O volume deste resíduo tem um volume considerável sobre o total de resíduos produzidos no CENG – representa cerca de 30% dos resíduos recicláveis. O tempo de decomposição de um copo descartável pode durar entre 50 e 400 anos, dependendo as condições ambientais, enquanto sua vida útil chega a ser de apenas 13 segundos (CORRÊA, 2016).

Devido ao CENG ser um estabelecimento voltado para o lazer, entretenimento e prática de esportes, seu pico de funcionamento ocorre aos fins de semana e feriados. Nessas ocasiões, há o funcionamento da área de churrasco, onde há elevada utilização de carvão para alimentação das churrasqueiras, cujo consumo médio é de 15 sacos de carvão semanalmente, representando um total de 750 Kg de carvão queimados a cada semana.

Um dos pré-requisitos quando se objetiva a aplicação de novas políticas estratégicas, como a Produção Mais Limpa, é garantir aos agentes externos de implementação do projeto deixarem de frequentar o local, as melhorias ainda continuem sendo empregadas. Para

que isso ocorra de maneira efetiva, todo o quadro de colaboradores (e demais agentes ativos do estabelecimento, como clientes e prestadores de serviço) devem estar cientes da importância ambiental e econômica das mudanças nos produtos e processos. Com objetivo de identificar o nível de cognição ambiental e a necessidade de implantar medidas de conscientização dos empregados do CENG, foi realizada uma pesquisa fenomenológica. De maneira similar, foram feitas avaliações quantitativas e hipotético-dedutivas com os associados do clube, com o mesmo objetivo.

Prevenir o descarte de resíduos no meio ambiente pode ser feito de diversas maneiras, valendo-se da reutilização, reciclagem externa ou interna. Todavia, a Produção Mais Limpa preza pela mudança de cultura empresarial de “o que fazer com os resíduos” para “como não gerar os resíduos” (CNTL, 2003).

A gravimetria (medição mássica de determinada substância) de todo complexo alimentício mostrou de maneira clara a quantia de resíduos orgânicos que são rejeitados durante o funcionamento do clube (Figura 1).

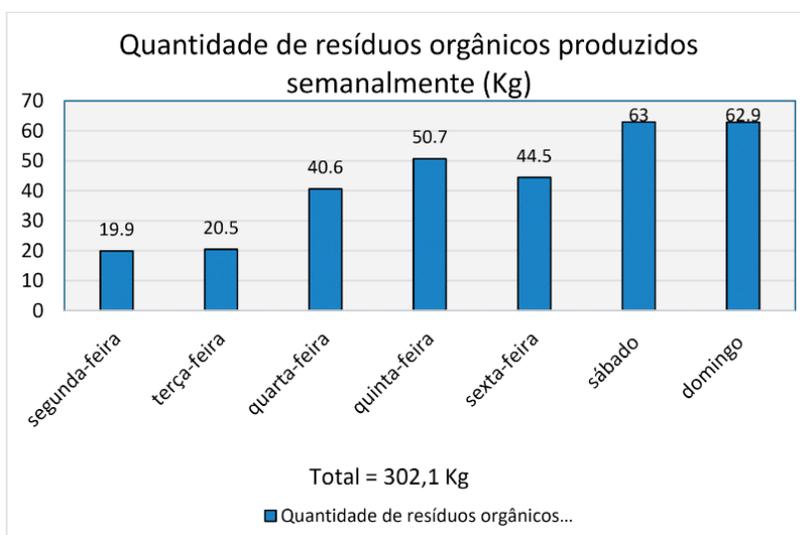


Figura 1. Quantidade de resíduos orgânicos produzidos em cada dia da semana.

A maior parte dos resíduos orgânicos provém de alimentos já cozidos, sobras de refeições, restos de comida contendo carnes, pratos contendo sal, que não podem ser utilizados na compostagem.

Sendo assim, foi realizada uma segunda gravimetria contendo apenas os resíduos orgânicos ideias para o processo de compostagem, para que pudesse ser implementado o processo no CENG, fechando o círculo da P+L, próximo ao ideal.

Pelas análises gravimétricas e documentais feitas, foi possível concluir a relação

entre quantidade resíduos compostáveis produzidos pelo setor alimentício e o período da semana (Tabela 1).

	Segunda a sexta	Sábado	Domingo
Movimento de visitantes	Fraco	Forte	Médio
Suprimentos na produção das refeições	Baixo	Alto	Médio
Demanda de empregados	Constante		
Quantidade de resíduos compostáveis	3,046 Kg.dia ⁻¹	8,722 Kg.dia ⁻¹	4,500 Kg.dia ⁻¹

Tabela 1. Fluxo de pessoas, demanda e resíduos compostáveis provenientes do complexo alimentício

O material orgânico, que inicialmente era considerado rejeito, pôde ser utilizado na implantação de compostagem no local, já que não demanda qualificação de mão-de-obra própria para manuseio, podendo ser realizada pelos próprios funcionários do Clube. Foi possível utilizar o composto gerado como suprimento de uma horta orgânica, que atenderá ao próprio local, podendo fornecer ao complexo alimentício verduras e temperos, gerando um fluxo circular (Figura 1), onde o desperdício é ínfimo, podendo ser desconsiderado.

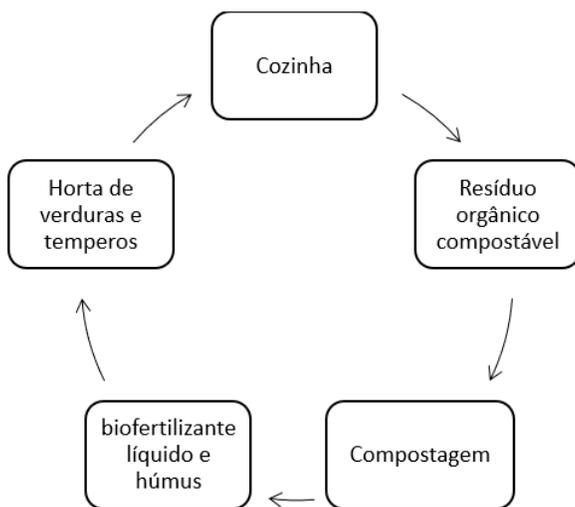


Figura 1. Fluxo circular promovido pela implantação de compostagem e horta de verduras e temperos

Os resíduos orgânicos compostáveis produzidos pela cozinha e pelos bares servem para a produção de adubo orgânico. Possuem capacidade de gerar 25 Kg de húmus e 20

litros de biofertilizante líquido mensalmente. As composteiras confeccionadas de material reciclado, totalizaram, cada, 60 litros de capacidade, sendo confeccionadas com material disponível no depósito da associação (sujeito anteriormente ao descarte).

A horta orgânica, além de suprir parte da demanda de alimentos para o complexo alimentício, aumenta a credibilidade do clube para com seus associados. Diferentemente dos alimentos cultivados em larga escala, que podem conter partículas residuais de pesticidas e demais agentes agrotóxicos (SILVA et al, 2006), os vegetais e temperos sem elementos ofensivos à saúde humana são bem avaliados pelos associados, sendo motivo de destaque do estabelecimento. Esse diferencial poderá ser bem utilizado na promoção de um *marketing* verde, aumentando o potencial do CENG em aumentar o número de associados e incrementando sua imagem associativa perante a comunidade local e finalidade de exemplo na área da Engenharia.

É válido ressaltar, ainda, a importância dessas práticas para os colaboradores do local. Os trabalhadores treinados e conscientizados da reutilização dos resíduos orgânicos pela compostagem em prol do reaproveitamento e mitigação dos impactos ambientais, disseminam a educação ambiental, com aplicação da técnica em suas casas, atuando como multiplicadores sociais.

A geração de matéria seca, antes considerada como mais um rejeito, agregando custo de manutenção para a entidade, também foi utilizada no processo de compostagem e adubação da vegetação. As aparas de grama e folhas recolhidas dentro nos limites do Clube corresponderam a um volume médio de 1500 litros de material orgânico, que pode ser estocado no depósito e até ser disponibilizado aos sócios e empregados para motivar a aplicação da compostagem em suas casas.

O óleo de fritura destinado para o tratamento de óleos consumíveis, que antes gerava um desconto de R\$ 40,00 mensais na conta de água, após a aplicação da P+L gera retorno de R\$ 80,00 em produtos de limpeza, apesar de pouco, quando se colima o fim do ambiente, toda redução de resíduo é importante, lembrando que a técnica não se limitou à mitigação de óleo somente, mas de todos os resíduos que eram considerados inaproveitáveis ao CENG.

Foi possível verificar a reintegração indireta dos resíduos em prol do fornecimento de suprimentos necessários para funcionamento de todos os setores do CENG, como mostra a Figura 2.

Houve, a incrementação logística, com redução no de serviço dos empregados do setor de aquisição em relação à compra de mantimentos de limpeza, dando maior dinamicidade operacional ao clube.

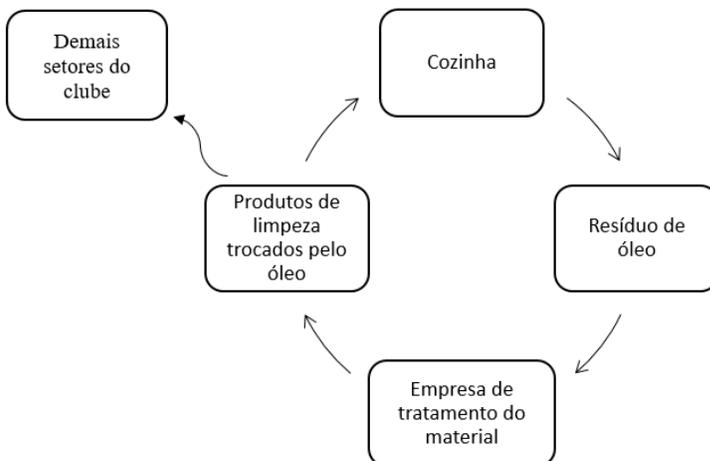


Figura 2. Retroalimentação dos resíduos de óleo na forma de créditos em matérias de consumo

O uso deliberado de copos descartáveis pelos associados e empregados do CENG é prática habitual visto em estabelecimentos alimentícios (na verdade em todos os locais).

No CENG, o uso mínimo estimado para um mês gerava uma quantia de 900 unidades de copos plásticos descartados, representando um valor de R\$ 22,50 mensais (anualmente, 10.950 copos, com investimento de R\$ 270,00).

O poliestireno possui baixo retorno de reciclagem, pois um quilograma do material custa em média R\$ 0,20. Além disso, sua derivação do petróleo torna seu uso ambientalmente ineficaz, tendendo a ser utilizado cada vez menos. Com o propósito de cessar com a produção esse rejeito, todos os copos de poliestireno descartáveis foram banidos, sendo substituídos por copos de vidro temperado e canecas cerâmicas. A Tabela 2 representa as vantagens dessa substituição.

Copos de vidro temperado	Canecas cerâmicas
Podem ser reciclados incontavelmente sem perder qualidade ou pureza	Não possuem fácil reciclagem, mas são reutilizadas em decoração e artesanato
Economicamente viável, com preço unitário de R\$ 5,50	Economicamente viável, com preço unitário de R\$ 20,00,
Investimento de R\$ 27,50, recuperados em menos de 2 meses, com a substituição	Investimento de R\$ 100,00 recuperados em menos de 5 meses, com a substituição

Tabela 2. Vantagens e características dos possíveis substitutos dos copos descartáveis de poliestireno

A proposta de substituição, apesar de ser economicamente e ambientalmente viável,

exige a limpeza após seu uso. Portanto, foi realizada uma conscientização de boas práticas no ambiente de serviço para que cada empregado lavasse o utensílio que sujou. Para os copos e cerâmicas utilizados por associados, foi definida uma pessoa para realizar esse trabalho. Apesar do incremento do consumo de água, destinada à limpeza dessas louças, a quantidade de água empregada é consideravelmente menor do que àquela empregada na fabricação dos copos descartáveis de poliestireno (CORRÊA, 2016), representando um ganho ambiental difuso, com a redução do passivo ambiental.

Foi proposta a substituição do carvão convencional utilizado nas churrasqueiras pelo carvão ecológico, também conhecido como briquetes de carvão. Este tipo de carvão é processado a partir do resíduo provindo da queima de combustíveis sólidos, como cinzas de carvão, e do processamento de cascas de coco e de outras fibras, utilizando uma substância aglutinante. Esse combustível sólido sustentável oferece maior durabilidade de queima e tempo de rendimento, bem como menor emissão de fumaça (MENDONÇA, 2009).

Todas essas alterações de produtos e processos só se fazem eficientes e eficazes quando há o desenvolvimento de consciência de redução de custos e de impactos ambientais. A educação ambiental é ferramenta preponderante para àqueles que frequentam o CENG, representando o alicerce que permite a implantação efetiva das técnicas de P+L e o impulso que oportuniza a continuidade das melhorias de maneira continuada.

Foram realizadas reuniões com os empregados do complexo alimentício, salientando a necessidade de aplicar o menor desperdício possível por meio da prevenção. Pratos com partes de vegetais e legumes que geralmente eram destinados às lixeiras, como talos de folhas e cascas de frutos foram destinados na produção de petiscos, saladas e sucos. As mangas geradas sazonalmente nas árvores existentes no CENG, podem ser utilizadas como nutritivos suprlmentos em pratos servidos para associados e empregados.

A pesquisa fenomenológica realizada *in loco* demonstrou um baixo conhecimento daqueles que vão ao Clube sobre as boas práticas ambientais. A conscientização dos trabalhadores, que têm presença contínua no Clube, foi feita tanto de maneira direta (por meio da comunicação oral) como indireta (utilizando sinalização e meio eletrônico). Foi realizada sinalização também nos locais de maior concentração de associados, com objetivo de promover a conscientização de correta destinação dos resíduos. As lixeiras foram mapeadas, enumeradas, sinalizadas e recolocadas de acordo com a demanda da área, levando em consideração o quantitativo de pessoas em cada local. Nas lixeiras, foi aposta uma placa sinalizando qual material pode ser recebido por aquele recipiente (sendo as qualidades: plástico, papel, vidro, metal, orgânico ou demais resíduos), bem como àqueles que não devem ser descartados ali.

Uma importante ferramenta utilizada na propagação da cultura de redução dos impactos ambientais foi o uso de mídias digitais. O projeto foi descrito por meio das redes sociais, e-mail e página do Clube, permitindo que associados pudessem estar cientes

das novas medidas de melhoria da Associação. Todas essas técnicas de conscientização ambiental constituem ações de *marketing*, agregando valor verde ao Clube de Engenharia de Goiás que, através da aplicação da própria Engenharia, apresenta resultados ambientalmente corretos, gerando melhorias ao Clube e a toda a sociedade.

3 | CONCLUSÕES

Estabelecimentos voltados para produção de alimentos possuem um grande potencial para implantação de técnicas de Produção Mais Limpa (P+L). A aplicação dessa prática busca a mitigação do impacto ambiental, proporcionando uma produção sustentável, concomitantemente à redução do custo de operação. Essa estratégia se baseia nas boas práticas ambientais, na conscientização dos *stakeholders*, na prevenção da emissão de resíduos e na aplicação de um Sistema de Gestão Ambiental eficaz. O gerenciamento dos resíduos objetiva reduzir ao máximo sua emissão. Para que isso seja possível, usando técnicas de P+L, os estabelecimentos devem usar táticas que possibilitem sua reintegração ao processo produtivo, reutilização, reciclagem interna e/ou externa.

A educação ambiental é parte essencial no desenvolvimento de uma produção que desperdiça quantias mínimas de suprimento. Sendo assim, a conscientização na planta de trabalho é parte essencial para se alcançar a melhoria contínua, pois coloca os trabalhadores como agentes de aprimoramento do produto ou serviço prestado. Um estabelecimento que funciona sanando as necessidades presentes, mas preservando os recursos para o futuro encontra maior alcance no mercado competitivo, que preza cada vez mais pela preocupação ambiental.

Por fim, a implantação de Produção Mais Limpa no complexo alimentício do Clube de Engenharia de Goiás trouxe como resultado a redução dos investimentos em alimentos, maior organização do meio laboral e boa visibilidade ambiental para a associação.

As técnicas implantadas e sugeridas são de baixo investimento inicial, com rápido retorno do capital.

A melhoria tende a continuar, devido à conscientização daqueles que o clube frequenta.

O desenvolvimento sustentável representa um ganho direto ao Clube de Engenharia de Goiás, podendo ser replicado facilmente em outros estabelecimentos congêneres, porém, o maior ganho é indireto, através da busca do resíduo gero que, apesar de utópico, propicia a mitigação da poluição, com consequente ganho ambiental difuso a todos que habitam neste orbe.

AGRADECIMENTOS

Ao Clube de Engenharia de Goiás pela disposição em implantar o projeto.

REFERÊNCIAS

CNTL. Centro Nacional de Tecnologias Limpas. **Implementação de programas de produção mais limpa**. 2003. Disponível em <http://www.pha.poli.usp.br>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.

FRESNER, Johannes. **Cleaner production as a means for effective environmental management**. Journal of Cleaner Production, v. 6, p. 171-179, 1998.

VILHENA, A.; Politi, E. **Reduzindo, reutilizando, reciclando: a indústria ecoeficiente**. São Paulo, SENAI, 2000.

EMBRAPA. **Compostagem caseira do lixo orgânico doméstico**. Nota Técnica. 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1022380/1/Compostagemcaseiradelixoorganicodomestico.pdf>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.

CORRÊA, M. E. R. M. **Proposta de substituição de copos plásticos descartáveis em fábrica de grande porte**, Paraná, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

SILVA, M. M. da; Araújo, J. L. P. de; Barbosa, A. D.; Silva, A. F.; Santana, L. M. de; França, C. R. R. S. **Comportamento econômico e produtivo da horta comunitária agroecológica de Nova Descoberta**. Embrapa Semi-árido, Petrolina, 2006.

MENDONÇA, G. A. **Para um churrasco ecologicamente correto**. 2009. Disponível em <https://www.bonde.com.br/economia/seu-bolso/para-um-churrasco-ecologicamente-correto-108995.html>. Acesso em: 20 de novembro de 2020.

AVANÇOS PARA MELHORIA DA RESISTÊNCIA À INCRUSTAÇÃO EM MEMBRANAS DE ULTRAFILTRAÇÃO COM POTENCIAL PARA APLICAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS OLEOSAS: UMA REVISÃO

Data de aceite: 01/02/2021

Victor José Romão dos Santos

Graduando do 10º período do Curso de Engenharia Química do Centro Universitário de Patos de Minas - UNIPAM

Suellen Cristine Meira

Professora Orientadora, Doutoranda em Engenharia Química, docente do Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM

Artigo apresentado como requisito parcial de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso do Graduando

RESUMO: A geração crescente de grandes volumes de efluentes industriais oleosos com elevado teor de óleo emulsionado associada com a preocupação da sociedade com conservação ambiental e a saúde humana, tem se mostrado um grande desafio para muitos pesquisadores. Uma alternativa para esse problema é o desenvolvimento de membranas de ultrafiltração (UF) com resistência à incrustação para a separação óleo/água eficiente. Este trabalho teve por objetivo buscar na literatura, através de uma pesquisa de revisão, os recentes avanços em relação ao problema de incrustação das membranas UF durante a remoção de óleos e outros contaminantes da emulsão óleo-água, que apresentem potencial para aplicação no tratamento de efluentes industriais oleosos. Os resultados obtidos dos artigos primários foram analisados e discutidos levando à conclusão que

as membranas PES/P(PEG-b-TFOA) e PSF/PVP/LDH-Mt apresentaram maior eficiência e as membranas PES/Cloisite(15A-30B), PES isotrópica e PVA/poliéster/AC/TiO₂ apresentam menor eficiência no processo de separação da emulsão óleo/água.

PALAVRAS-CHAVE: Membranas de ultrafiltração; anti-incrustação; tratamento de águas residuais; separação óleo-água; retenção de óleo.

ABSTRACT: The increasing generation of large volumes of oily industrial effluents with a high content of emulsified oil associated with society's concern with environmental conservation and human health, has proved to be a great challenge for many researchers. An alternative to this problem is the development of ultrafiltration (UF) membranes with incrustation resistance for efficient oil/water separation. This work aimed to search in the literature, through a revision research, the recent advances in relation to the problem of fouling UF membranes during the removal of oils and other contaminants from the oil-water emulsion, which have the potential for application in oily industrial effluents. The results obtained from the primary articles were analyzed and discussed, leading to the conclusion that the PES/P (PEG-b-TFOA) and PSF/PVP/LDH-Mt membranes showed greater efficiency and the PES/Cloisite(15A-30B), PES membranes isotropic and PVA/polyester/AC/TiO₂ present less efficiency in the separation process of the oil / water emulsion.

KEYWORDS: Ultrafiltration membranes; antifouling; wastewater treatment; oil-water

separation; oil retention.

1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o tratamento adequado de águas residuais oleosas tem se mostrado um grande desafio para muitos pesquisadores, devido a presença de óleo emulsionado que dificulta o processo de separação óleo-água. A geração de grandes volumes desses efluentes oriundos de diferentes segmentos industriais, como o refino do petróleo e a indústria petroquímica, associada com a preocupação da sociedade com a conservação ambiental cada vez maior, contribuem para intensificar os estudos acerca desta problemática (ZARGHAMI; MOHAMMADI; SADRZADEH; VAN DER BRUGGEN, 2019).

Diante disso, percebe-se paralelamente a necessidade de adoção de práticas redutoras de impactos socioambientais por parte de empresas que exercem atividades com potencial em causar danos ao meio ambiente, tanto para eliminar passivos existentes, quanto para evitar a criação de um novo passivo (AL-AMIN; O'BRIEN; LASHBROOK, 2013; SANDERSON, 2017). Além de efetivarem a dignidade humana através do que está previsto na legislação, salvaguardando os direitos fundamentais, de modo a garantir um meio ambiente equilibrado e a qualidade de vida (AMARANTE; ALVA, 2018).

Ainda assim, a contaminação do solo e de recursos hídricos pela deposição de efluentes fora dos parâmetros determinados e por acidentes envolvendo derramamento de petróleo e seus derivados é uma realidade (DANTAS, 2015). Entre as empresas que estão constantemente sujeitas à esta situação, podemos citar as do setor elétrico, cujo fluido dielétrico, constituído por óleo mineral isolante, presente em transformadores de potência e de distribuição representam um grande risco, devido a explosões, falhas e vazamentos, que, quando ocorrem, despejam o líquido tóxico (FERNÁNDEZ; ORTIZ; DELGADO; RENEDO; PÉREZ, 2013).

Para a separação óleo-água eficiente em bacias de contenção destes equipamentos, entre outros equipamentos industriais, são utilizados os filtros de água anti-hidrocarbonetos constituídos por um polímero oleofílico e hidrofóbico. Tais dispositivos apresentam estrutura compacta e possuem uma ampla faixa de vazão na evacuação da água de escoamento; e bloqueio instantâneo dos tanques de retenção em caso de vazamento repentino de hidrocarbonetos. Os mesmos são produzidos com tecnologia patenteada e distribuídos na América Latina com exclusividade por uma empresa com sede no estado de São Paulo (FILTRELEC, 2019). Conseqüentemente, esses filtros possuem elevado custo de aquisição.

Uma tecnologia alternativa são membranas de ultrafiltração (UF), que apresentam uma melhor qualidade da água tratada e não requerem a troca frequente conforme os filtros anti-hidrocarbonetos existentes. Porém, um fator limitante em processos de separação que empregam membranas é a incrustação provocada pela adsorção de surfactantes e

contaminantes oleosos em sua superfície. Apesar da maioria das membranas poderem ser reutilizadas após tratamentos físico e/ou químicos de limpeza, estes processos podem ser dispendiosos e financeiramente onerosos (DICKHOUT; MORENO; BIESHEUVEL; BOELS; DE VOS; LAMMERTINK, 2017).

Até a presente data, a maioria das pesquisas concentra-se no projeto e preparação de várias membranas. Menos atenção é dada às investigações aprofundadas do processo de separação óleo/água e à compreensão de como as gotículas de óleo se desmulsificaram e coalesceram nas superfícies das membranas, o que muitas vezes é negligenciado, mas é muito importante. Esclarecer este ponto pode fornecer uma orientação teórica para projetar membranas de alto desempenho. (ZHU; WANG; JIANG; JIN, 2014, p. 8, tradução nossa)¹.

Partindo-se desta perspectiva, o desenvolvimento deste estudo é justificado por sua contribuição para ampliação do conhecimento científico, através da necessidade de verificar e discutir soluções para o processo de incrustação das membranas durante o tratamento de efluentes, além de fornecer informações relevantes para pesquisa e desenvolvimento de métodos de retenção de hidrocarbonetos que sejam economicamente viáveis, contribuindo para assegurar a sustentabilidade econômica de empresas, tais como as do setor elétrico, entre outras.

Este trabalho teve por objetivo, buscar na literatura os recentes avanços em relação ao problema de incrustação das membranas UF durante a remoção de óleos e outros contaminantes da emulsão óleo-água, que apresentem potencial para aplicação no tratamento de efluentes industriais oleosos.

2 | REVISÃO TEÓRICA

Nesta seção foram abordados tópicos complementares contendo informações relevantes que auxiliarão na compreensão desta pesquisa.

2.1 Contexto legal

No Brasil, os limites máximos para a concentração de óleos e graxas em efluentes são de até 20 mg·L⁻¹ para óleos minerais e 50 mg·L⁻¹ para óleos vegetais e gorduras animais, estabelecidos pela Resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA (2011, v. 92, p. 89) que “Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.”, esta outra “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e

¹ To date, most research focuses on the design and preparation of various membranes. Less attention is paid to in-depth investigations of the oil/water separation process and understanding how the oil droplets demulsified and coalesced together at membrane surfaces, which is often neglected but very important. Clarifying this point could provide a theoretical direction for designing high-performance membranes.

padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.” (CONAMA, 2005, v. 53, p. 58-63).

2.2 Materiais para sorção de óleos

Estudos recentes têm abordado o desenvolvimento de materiais alternativos para remediar áreas impactadas por materiais oleosos, como bagaço de cana-de-açúcar, fibras vegetais, argilas e espumas de poliuretano, em particular, essas espumas apresentam matriz polimérica hidrofóbica com grande capacidade de absorção de hidrocarbonetos e rejeição da água (SANTOS; SILVA, M. C.; SILVA; MUSSEL; YOSHIDA, 2017).

No entanto, estes materiais não desempenham a separação óleo-água de maneira satisfatória, pois podem ser facilmente contaminados e até mesmo obstruídos por óleos e resíduos sólidos, ademais, a água tende a se depositar abaixo da maioria dos óleo, em decorrência de sua densidade ser mais elevada, e a formar uma película repelente acima do material de separação, dificultando o processo de sorção (ZARGHAMI; MOHAMMADI; SADRZADEH; VAN DER BRUGGEN, 2019).

2.3 Filtros anti-hidrocarbonetos

O projeto, fabricação e distribuição de filtros de água anti-hidrocarbonetos para transformadores elétricos e equipamentos industriais, FILTRELEC® é a maior gama destes produtos no mercado atualmente. Estes são desenvolvidos utilizando uma tecnologia patenteada amplamente utilizada nos Estados Unidos e no Canadá e são distribuídos na América Latina exclusivamente por uma empresa com sede no estado de São Paulo. Os filtros são constituídos por um polímero oleofílico e hidrófobo que retém definitivamente os hidrocarbonetos, respondendo as necessidades específicas em termos de vazão de águas pluviais ou da rapidez de solidificação em caso de vazamento de óleo (FILTRELEC, 2019).

Os produtos desta marca são compostos por um cartucho de filtragem e pelo respectivo pré-filtro, evitando assim o engorduramento do cartucho pelas sujidades sólidas contidas na água a ser filtrada. Alguns dos produtos disponibilizados pela FILTRELEC® neste segmento são: filtro separador de água e óleo, com cartucho recarregável, para óleos específicos, de alto fluxo, além dos filtros personalizados (FILTRELEC, 2019).

2.4 Membranas de ultrafiltração

Outra tecnologia muito eficiente que tem ganhado destaque recentemente para a recuperação de óleos, entre outras atribuições, são as membranas UF. Esses dispositivos semipermeáveis apresentam estrutura mesoporosa, em que a força motriz atuante é a diferença de pressão através da membrana e seus poros que possuem dimensões entre 2 a 50 nm. Esse princípio de funcionamento permite a passagem de água e de sais dissolvidos, retraindo coloides e macromoléculas (PADAKI; SURYA MURALI; ABDULLAH; MISDAN; MOSLEHYANI; KASSIM; HILAL; ISMAIL, 2015).

Diferentes métodos de síntese de membranas, aplicados a misturas de polímero

hidrofóbicos com polímeros e/ou nanomateriais hidrofílicos, revestimento de superfície e enxerto de superfície, são abordagens propostas para modificação de membranas. “Essas membranas hidrofílicas podem separar efetivamente o óleo/água e simultaneamente inibir o declínio do fluxo causado pela incrustação.” (ZHU; XIE; LI; XING; JIN, 2015, p. 3, tradução nossa)².

As membranas poliméricas UF são sintetizadas a partir dos polímeros, entre os quais a poliétersulfona (PES) é um dos materiais poliméricos mais importantes e é amplamente utilizado no campo da separação (ABDEL-ATY; AZIZ; AHMED; ELSHERBINY; PANGLISCH; ULBRICHT; KHALIL, 2020). Outros polímeros utilizados para a preparação de membranas são a poliácridonitrina (PAN) (KOVÁCS; VERÉB; KERTÉSZ; BESZÉDES; HODÚR; LÁSZLÓ, 2018); o polifluoreto de vinilideno (PVDF) (SHEN; HAO; ZHANG, Y.; ZHANG, G.; ZHOU; BAI, 2018); a polisulfona (PSF) (MAKWANA; POLISETTI; CASTAÑO; RAY; BAJAJ, 2020); e o polivinil álcool (PVA) (CHEPI; PEYRAVI; JAHANSHAHI, 2020).

3 | METODOLOGIA

Este estudo consiste em uma revisão sistemática da literatura. O objetivo deste tipo de pesquisa é responder a uma pergunta norteadora específica ou série de questões em concordância com os critérios de inclusão pré-estabelecidos (PETERS; GODFREY; KHALIL; MCINERNEY; PARKER; SOARES, 2015). O desenvolvimento desta revisão perpassou pelas seguintes etapas: Escolha do tema; Definição dos critérios de inclusão; Definição da pergunta norteadora; Análise das informações extraídas dos artigos primários; Interpretação dos resultados; e Elaboração do conhecimento sintetizado.

3.1 Escolha do tema

Dada a importância que a tecnologia de ultrafiltração por membranas tem atraído nos últimos anos para o processo de separação de emulsão óleo/água em diversos processos industriais, o tema central para esta revisão foi a investigação de membranas UF com propriedades anti-incrustantes desenvolvidas recentemente.

3.2 Definição dos critérios de inclusão

Os critérios de inclusão utilizados foram artigos científicos completos publicados em periódicos de interesse entre os anos de 2015 e 2020, correspondentes ao tema em questão, disponíveis no idioma inglês, nas bibliotecas digitais Google Acadêmico, Science Direct e o Portal de Periódicos CAPES. Os artigos incoerentes com os fatores limitadores, repetidos nas bases de dados ou que foram publicadas em periódicos diferentes dos preconizados foram excluídos.

O levantamento dos dados ocorreu entre os meses de agosto e setembro de 2020.

² These hydrophilic membranes could effectively separate the oil/water and simultaneously inhibit the flux decline caused by fouling.

Avaliou-se inicialmente os materiais encontrados pela leitura dos títulos e resumos. Em circunstâncias que não foi possível determinar a elegibilidade por este método, analisou-se o conteúdo das publicações integralmente.

3.3 Definição da pergunta norteadora

A questão que direcionou o estudo foi: “Quais possíveis soluções para o problema de incrustação das membranas de ultrafiltração foram desenvolvidas e propostas recentemente para melhorar a eficiência do tratamento de águas residuais oleosas?”. Esta pergunta auxiliou na construção das palavras-chave e na determinação das informações a serem extraídas dos artigos revisados (métodos propostos para diminuição da incrustação das membranas a partir de modificações superficiais e/ou estruturais e os principais resultados obtidos).

Elaborou-se as seguintes palavras-chave: membranas de ultrafiltração; anti-incrustação; tratamento de águas residuais; separação óleo-água; retenção de óleo. Entretanto, considerando a escassez de conhecimento científico correspondente à temática proposta publicado no idioma português, as mesmas foram utilizadas na língua inglesa: ultrafiltration membranes; antifouling; wastewater treatment; oil-water separation; oil retention.

3.4 Análise das informações extraídas dos artigos primários

A análise descritiva foi implementada possibilitando a observação e correlação adequada dos dados. Utilizou-se um quadro como ferramenta para organizar e identificar os artigos primários contendo autores, ano de publicação, título e periódico, visando facilitar a análise da discussão.

3.5 Interpretação dos resultados

A correlação entre os dados dos diferentes artigos analisados neste estudo e a interpretação dos resultados positivos e dos pontos de melhoria em relação às membranas com propriedades anti-incrustantes, são descritas detalhadamente na seção 4 (RESULTADOS E DISCUSSÃO).

3.6 Elaboração do conhecimento sintetizado

A síntese do conhecimento desenvolvido no presente trabalho culminou na elaboração deste artigo de revisão.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados 41 resultados entre os anos de 2015 e 2020, dentre os quais foram selecionadas 10 publicações que preencheram os pré-requisitos. As descrições dos artigos utilizados neste trabalho (autores, ano de publicação, título e periódico) encontram-se dispostas no Quadro 1.

Artigo	Autores/Ano	Título	Periódico
01	ZHANG, G.; JIANG, ZHANG, Q.; ZHAN; CHEN, 2017	Amphiphilic Poly(ether sulfone) Membranes for Oil/Water Separation: Effect of Sequence Structure of the Modifier	AIChE Journal
02	KOVÁCS; VERÉB; KERTÉSZ; BESZÉDES; HODÚR; LÁSZLÓ, 2018	Investigation of surface and filtration properties of TiO ₂ coated ultrafiltration polyacrylonitrile membranes	Water Science & Technology
03	ZHANG; SUN; WEI; LIU, 2018	Effect of formation of micro reaction locations (MRLs) on properties of polyvinylidene fluoride (PVDF) membranes	Journal of Membrane Science
04	SHEN; HAO; ZHANG, Y.; ZHANG, G.; ZHOU; BAI, 2018	Enhancing the Antifouling Properties of Poly(vinylidene fluoride) (PVDF) Membrane through a Novel Blending and Surface-Grafting Modification Approach	ACS Omega
05	AHMAD; OTITOJU; OOI, 2018	Optimization of a high performance 3-aminopropyltriethoxysilanesilica impregnated polyethersulfone membrane using response surface methodology for ultrafiltration of synthetic oil-water emulsion	Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers
06	DARAEI; GHAEMI, 2019	Synergistic effect of Cloisite 15A and 30B nanofillers on the characteristics of nanocomposite polyethersulfone membrane	Applied Clay Science
07	NAIK; PADAKI; DÉON; KARUNAKARAN; DIZGE; SAXENA, 2019	The efficient mixed matrix antifouling membrane for surfactant stabilized oil-in-water nanoemulsion separation	Journal of Water Process Engineering
08	MAKWANA; POLISETTI; CASTAÑO; RAY; BAJAJ, 2020	Mg-Fe layered double hydroxide modified montmorillonite as hydrophilic nanofiller in polysulfone- polyvinylpyrrolidone blend ultrafiltration membranes: separation of oil-water mixture	Applied Clay Science
09	ABDEL-ATY; AZIZ; AHMED; ELSHERBINY; PANGLISCH; ULBRICHT; KHALIL, 2020	High Performance Isotropic Polyethersulfone Membranes for Heavy Oil-in-Water Emulsion Separation	Separation and Purification Technology
10	CHEPI; PEYRAVI; JAHANSHAH, 2020	Ultrafiltration of O/W emulsion by dynamic polyester support: a comparison study between selfforming and precoated	Chemical Papers

Quadro 1 — Descrições dos artigos utilizados nesta revisão.

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Uma membrana PES modificada foi preparada no artigo 01 pelo método de separação de fases induzida por não solvente (do inglês, NIPS). Adicionou-se 0,3% (m:m) do copolímero anfifílico modificador dibloco P(PEG-*b*-TFOA) à solução de moldagem, que foi vertida em placa de vidro e imediatamente imersa em N,N-dimetilformamida (DMF) e água destilada (DMF/H₂O = 40/60, T = 10 °C) para coagulação. Obtendo-se a membrana PES/Blo, lavou-a com água destilada em abundância, sendo acondicionada em água destilada até o uso (ZHANG, G.; JIANG, ZHANG, Q.; ZHAN; CHEN, 2017).

O método de revestimento de superfície foi utilizado no artigo 02 em membranas PAN comerciais para ultrafiltração com área superficial de 0,00342 m². Preparou-se uma

suspensão de dióxido de titânio (TiO_2) em água destilada, que foi agitada a 300 rpm e posteriormente filtrada através da membrana para formação do revestimento. O processo de filtração ocorreu a 0,1 MPa. A quantidade de revestimento da membrana que apresentou melhor desempenho PAN + 0,3 mg·cm⁻² de TiO_2 , foi medida pesando-se a membrana pura e a seca revestida (KOVÁCS; VERÉB; KERTÉSZ; BESZÉDES; HODÚR; LÁSZLÓ, 2018).

Membrana composta PVDF/MSYFZr-TiNs, foi preparada no artigo 03 através do método de inversão de fase. Inicialmente, adicionou-se partículas de MSYFZr-TiNs (nanotubos de superácido sólido TiO_2 revestido com perácido e modificado por dodecilbenzeno sulfonato de sódio) em dimetilacetamida (DMAc) sob agitação a 60 °C. Posteriormente, foi acrescentado o PVDF e dissolvido continuamente por agitação ultrassônica, seguido da adição de polivinilpirrolidona (PVP-K30), agente formador de poros. A solução homogênea de fundição obtida foi mantida em repouso durante 24 h à temperatura ambiente, e após esse período, moldou-se a membrana em placa de vidro com a espessura desejada (0,2 mm). Após uma pré-evaporação por exposição ao ar por 15 s, submergiu-se a membrana em água a 50 °C (ZHANG; SUN; WEI; LIU, 2018).

Uma membrana a partir da mistura de PVDF e P(VDF-co-CTFE) é preparada pelo método de precipitação por imersão no artigo 04. Primeiramente, dissolveu-se PVP (5% em massa) em N-metilpirrolidona (NMP). E em seguida, adicionada a mistura polimérica PVDF/P(VDF-co-CTFE) (6:4) sob agitação mecânica. Após a desaeração, a solução de fundição foi vertida em placa de vidro e imediatamente imersa em água deionizada a 60 °C para remover o solvente e solidificar a estrutura da membrana. A superfície da membrana foi modificada por enxerto de um copolímero tribloco P(VDF-co-CTFE)-g-PMAA-g-fPEG com grupos hidrofílicos e oleofóbicos (SHEN; HAO; ZHANG, Y.; ZHANG, G.; ZHOU; BAI, 2018).

Partículas APTES- SiO_2 (3-aminopropiltriétoxissilanossilica) foram utilizadas para modificar membrana PES no artigo 05. Sintetizou-se a membrana pelo método NIPS, a partir da solubilização de PES em DMAc, em que se adicionou uma quantidade pré-determinada de polietilenoglicol (PEG) e promoveu-se a dispersão em ultrassom. Em seguida, acrescentou-se partículas APTES- SiO_2 sob agitação contínua até obter-se uma mistura homogênea, que posteriormente à desgaseificação, foi utilizada para produzir membranas pelo processo de fiação úmida. Acondicionou-se as membranas obtidas em água para eliminação do solvente, após isso, foram mantidas em banho de glicerol e água (50:50) durante 24 h para evitar o colapso dos poros, e por último, secaram à temperatura ambiente (AHMAD; OTITOJU; OOI, 2018).

Membrana PES foi modificada no artigo 06 pela adição de nanoenchimento na matriz polimérica. Adicionou-se Cloisite 15A (hidrofóbico) e Cloisite 30B (hidrofílico) (1:1), ao DMAc à temperatura ambiente, obtendo-se uma solução com viscosidade adequada. Utilizou-se água desionizada como coagulante no método de inversão de fase aplicado no preparo de membranas planas com espessura de 150 µm, aproximadamente. A fundição

foi moldada em substratos de vidro, que forma mantidos em água até a separação de fases. Posteriormente, as membranas foram lavadas com água e secas à temperatura ambiente (DARAEI; GHAEMI, 2019).

Fabricou-se uma membrana de matriz mista PSF/ AlSi_2O_6 pelo processo de separação de fase induzida por difusão (do inglês, DIPS) no artigo 07. Nanopartículas de AlSi_2O_6 sintetizadas via método de precipitação foram dispersas com vibração ultrassônica em NMP para obtenção de suspensão uniforme. Adicionou-se a quantidade especificada de PSF na solução anterior, onde foi dissolvida com agitação constante. Após a desaeração, dispersou-se uniformemente a solução de fundição em placas de vidro, transferindo-as para um banho de água destilada para a separação de fases. E posteriormente, para um banho-maria para ganho de resistência mecânica e eliminação total de solvente (NAIK; PADAKI; DÉON; KARUNAKARAN; DIZGE; SAXENA, 2019).

O método de inversão de fase foi utilizado no artigo 08 para preparar membrana de mistura PSF/PVP modificada com nanoenchimento de hidróxido duplo em camadas de Mg-Fe (LDH-Mt) (1% em massa). Dissolveu-se as quantidades desejada do polímero seco e PVP em DMF sob agitação, formando-se uma solução polimérica homogênea, que foi desgaseificada em repouso por 24 h. A solução de polissulfona foi fundida na forma de um filme em tecido não tecido de poliéster de 80 μm e colocadas em banho-maria para inversão de fase. As membranas obtidas foram mantidas em água deionizada por 48 h para a remoção do solvente (MAKWANA; POLISETTI; CASTAÑO; RAY; BAJAJ, 2020).

A fabricação de membrana PES isotrópica é verificada no artigo 09 a partir dos métodos VIPS (separação de fase induzida por vapor não solvente) e NIPS combinados. Misturou-se completamente NPM e TEG na proporção desejada e acrescentou-se PVP e PES sob agitação por 5 dias para obter-se uma homogênea, que foi vertida em placas de vidro, com exposição instantânea ao ar úmido (UR: 80%) por 3 min. A membrana produzida foi mergulhada em água a 21 °C para coagulação, e armazenada após seca (ABDEL-ATY; AZIZ; AHMED; ELSHERBINY; PANGLISCH; ULBRICHT; KHALIL, 2020).

Para a preparação de membrana dinâmica (MD) no artigo 10, foi utilizada uma suspensão de partículas de material dinâmico AC/ TiO_2 (carvão ativado/dióxido de titânio) com tamanho superior em relação aos poros da membrana suporte PVA/poliéster, a uma concentração de 1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$. Filtrou-se a mistura através da membrana suporte a 4 bar até que toda a suspensão esteja finalizada na câmara da célula. Neste caso, até a deposição das partículas de AC/ TiO_2 na superfície da membrana, teoricamente em torno de 0,1 g por área de membrana de suporte (CHEPI; PEYRAVI; JAHANSHAH, 2020).

Os principais resultados analisados nesta revisão que apresentaram efeitos na redução de incrustação nas membranas UF utilizadas em processos de separação de emulsão óleo-água, encontram-se descritos no Quadro 2.

Artigo	Tipos de membranas	WCA°	PF [L·m ⁻² ·h ⁻¹]	OR [%]	FRR [%]
01	PES/P(PEG-b-TFOA)	88,78	110,00	99,50	99,80
02	PAN/Ti ₀ 2	6,00 ± 2,00	480,00	96,00 ± 2,00	100,00
03	PVDF/MSYFZr-TiNs	< 36,00	354,00	93,48	98,50
04	PVDF/P(VDF-co-CTFE)/ P(VDF-co-CTFE)- g-PMAA-g-fPEG	63,70 ± 0,60	219,30	98,60	92,70
05	PES/APTES-Si ₀ 2	57,50	159,8 ± 7,00	99,20	90,50 ± 7,30
06	PES/Cloisite(15A-30B)	60,00 ± 2,00	7,00	99,10	95,00
07	PSF/AlSi ₂₀ 6	66,00	96,20	96,00	97,00
08	PSF/PVP/LDH-Mt	71,70	325,00	96,00	82,80
09	PES isotrópica	39,00	713,00	98,20	89,80
10	PVA/poliéster/AC/Ti ₀ 2	14,00	-	88,00	89,00

Legenda: WCA: Ângulo de contato da água; PF: Fluxo permeado; OR: Retenção de óleo; FRR: Taxa de recuperação de fluxo.

Quadro 2 — Principais resultados para melhoria da resistência à incrustação verificados nos artigos analisados.

Fonte: Dados da pesquisa, 2020.

Os valores de ângulo de contato (do inglês, WCA) medidos nas membranas determina qualitativamente a receptividade da superfície à água. Avalia-se este dado depositando-se uma gota de água sobre ela e analisando se houve ou não espalhamento da gota. A redução do ângulo de contato da água, aumenta a hidrofiliabilidade de superfície e, consequentemente, a permeabilidade de água através das membranas tende a aumentar. Associação desta propriedade com uma superfície uniforme de menor rugosidade, resulta em uma diminuição da incrustação irreversível de óleos e surfactantes (RAJASEKHAR; TRINADH; BABU; SAINATH; REDDY, 2015).

Os artigos 01, 05, 06 e 09 relataram a preparação de membranas a partir de PES para a filtração de 1.000, 140, 1.000 e 1.000 ppm de emulsão óleo/água, respectivamente, apresentando praticamente a mesma eficiência de OR (entre 98,2 e 99,5 %). A membrana PES/P(PEG-b-TFOA) (artigo 01), exibiu o maior WCA, porém, devido ao enriquecimento de segmentos PTFOA de baixa energia na superfície heterogênea anfífilica química, demonstrou melhora nas propriedades anti-incrustantes, apresentando maior valor de FRR, com 95,9% de FRR no final de 3 ciclos de filtração a 0,1 MPa, demonstrando um PF aceitável (ZHANG, G.; JIANG, ZHANG, Q.; ZHAN; CHEN, 2017).

No artigo 05, a otimização da membrana PES impregnada com partículas APTES-SiO₂ exibiu significativo ganho de hidrofiliabilidade superficial. O ajuste dos parâmetros (17,25% PES em massa; 3,72% PEG em massa; 3,6% APTES-SiO₂ em massa; e temperatura do

banho de coagulação (CBT) em 15 °C), levou a formação de uma membrana apropriada com grande resistência à incrustação e elevado PF (AHMAD; OTITOJU; OOI, 2018).

Por outro lado, a membrana PES/Cloisite(15A-30B) (artigo 06) apresentou o menor desempenho em termos de PF para a filtração a uma maior pressão (0,3 MPa) em relação às demais membranas PES. A baixa permeabilidade pode ser explicada pela quantidade igualmente proporcional entre os nanoenchimentos Cloisite 15A e 30B, hidrofóbico e hidrofílico, respectivamente, que levaram à formação de uma superfície de membrana mais lisa, pela diminuição de nanoestruturas na matriz polimérica, que apesar de ser desejável para redução de incrustação impede a ampla permeação de fluxo devido a diminuição do tamanho dos poros (GHAEMI; NASIRMANESH, 2018).

A membrana PES isotrópica também se destaca em decorrência do grande PF obtido inicialmente em relação à demais membranas estudadas. Contudo, após 3 ciclos de filtração a 0,1 MPa, a FRR cai para 59,5%, que ainda representa um grande PF, porém, o desempenho de membranas depende principalmente de uma elevada resistência à incrustação irreversível, portanto um valor de FRR estável e preferível (LI, S.; ZHANG; CUI; LI, J.; HE, 2016; ABDEL-ATY; AZIZ; AHMED; ELSHERBINY; PANGLISCH; ULBRICHT; KHALIL, 2020).

O revestimento da membrana PAN (artigo 02) resultou no menor valor de WCA, fornecendo um aumento da hidrofiliabilidade superficial e o segundo maior PF ao tratar uma emulsão com concentração de óleo 10 vezes menor que as utilizadas pela maioria das membranas PES analisadas anteriormente (100 ppm). Considerando o desvio padrão ($\pm 2\%$), a eficiência de remoção de óleo é equivalente às OR das demais membranas deste estudo, com exceção da membrana PVA/poliéster/AC/TiO₂. A irradiação com luz ultravioleta (UV) provou ser um método eficaz para remoção de incrustação e recuperação quase total de FRR (KOVÁCS; VERÉB; KERTÉSZ; BESZÉDES; HODÚR; LÁSZLÓ, 2018; CHEPI; PEYRAVI; JAHANSHAH, 2020).

Os artigos 03 e 04 utilizaram membranas baseadas em PVDF. No artigo 03, verificou-se uma grande hidrofiliabilidade de superfície para a membrana composta PVDF/MSYFZr-TiNs, que em conjunto com uma estrutura porosa abundante, refletem na obtenção de um elevado PF para filtração de emulsão 50 ppm de óleo/água a 0,15 MPa, exibindo excelente resistência à incrustação, com FRR de 89,1% após 8 ciclos de filtração. Tal eficiência é explicada pela formação de locais de micro reação (MRLs) a partir dos grupos hidroxilas abundantes na superfície, que degradam os poluentes orgânicos (13%) e decompõem os poluentes inorgânicos (12%) (ZHANG; SUN; WEI; LIU, 2018).

O aumento da molhabilidade de superfície da membrana PVDF/P(VDF-co-CTFE)/P(VDF-co-CTFE)-g-PMAA-g-fPEG (artigo 04) é atribuído ao enxerto do copolímero tribloco, porém devido à sua grande estrutura, provocou a diminuição do tamanho dos poros, e consequentemente, redução do PF, que ainda pode ser considerado grande. A membrana atingiu taxas OR de 98,6; 97,3 e 96,2% após 1, 2 e 5 ciclos de filtração, respectivamente,

para emulsão 400 ppm de óleo/água a 0,1 MPa (GHAEMI; NASIRMANESH, 2018; SHEN; HAO; ZHANG, Y.; ZHANG, G.; ZHOU; BAI, 2018).

Membranas a partir de PSF foram fabricadas nos artigos 07 (PSF/AISi₂O₆) e 08 (PSF/PVP/LDH-Mt). Ambas apresentaram exatamente a mesma OR e hidrofiliicidade de superfície muito próximas. Mesmo operando a uma maior pressão (1 MPa) no tratamento de uma emulsão óleo/água menos concentrada (100 ppm), a membrana PSF/AISi₂O₆ mostrou-se menos eficiente em relação a membrana PSF/PVP/LDH-Mt na filtração de 1000 ppm de emulsão óleo/água a 0,14 MPa, havendo uma grande diferença entre os valores de PF e uma considerável redução na FRR. As nanopartículas AISi₂O₆ migram para a superfície da membrana durante a inversão de fase, aumentando sua rugosidade, e conseqüentemente, a incrustação irreversível, o que reduz PF (ZHU; XIE; LI; XING; JIN, 2015; NAIK; PADAKI; DÉON; KARUNAKARAN; DIZGE; SAXENA, 2019).

A membrana PVA/poliéster/AC/TiO₂ (artigo 10) apesar de apresentar uma elevada hidrofiliicidade de superfície, exibiu os piores valores de retenção de óleo e de recuperação da taxa de fluxo. Tais resultados são obtidos pois as membranas dinâmicas são formadas por uma superfície incrustante a partir da deposição de sólidos suspensos sobre uma membrana suporte, e mesmo que a filtração seja realizada sem agitação a eficiência de separação da emulsão óleo/água é reduzida (CHEPI; PEYRAVI; JAHANSHAH, 2020).

5 I CONCLUSÃO

As partir da análise e interpretação dos resultados obtidos, conclui-se que:

(I) Propostas para mitigação do problema de incrustação de membranas de ultrafiltração da emulsão óleo/água foram encontradas na literatura.

(II) As membranas PES/P(PEG-b-TFOA) e PSF/PVP/LDH-Mt mostraram maior eficiência no processo de separação de emulsões óleo/água muito concentradas em óleos e contaminantes, respectivamente.

(III) As membranas PES/APTES-SiO₂, PAN/TiO₂, PVDF/MSYFZr-TiNs, PVDF/P(VDF-co-CTFE)/P(VDF-co-CTFE)-g-PMAA-g-fPEG e PSF/AISi₂O₆ apresentaram boa eficiência para o tratamento de emulsões pouco concentradas.

(IV) Mais estudos são necessários para melhoria dos parâmetros PF, FRR e OR nas membras PES/Cloisite(15A-30B), PES isotrópica e PVA/poliéster/AC/TiO₂, a fim de validá-las para o processo de separação eficiente da emulsão óleo/água.

REFERÊNCIAS

ABDEL-ATY, A. A.; AZIZ, Y. S. A.; AHMED, R. M.; ELSHERBINY, I. M.; PANGLISCH, S.; ULBRICHT, M.; KHALIL, A. S. High performance isotropic polyethersulfone membranes for heavy oil-in-water emulsion separation. **Separation and Purification Technology**, Heverlee, v. 253, p. 117467, 2020.

AHMAD, A. L.; OTITOJU, T. A.; OOI, B. S. Otimização de uma membrana de polietersulfona impregnada com 3-aminopropiltriétoxissilano-sílica de alto desempenho usando metodologia de superfície de resposta para ultrafiltração de emulsão óleo-água sintética. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, Taiwan, v. 93, p. 461-476, 2018.

AL-AMIN, H.; O'BRIEN, J.; LASHBROOK, M. Synthetic ester transformer fluid: A total solution to windpark transformer technology. **Renewable energy**, Lemosos, v. 49, p. 33-38, 2013.

AMARANTE, I. C. S.; ALVA, J. C. R. Os impactos na saúde humana e no meio ambiente decorrentes do manejo e descarte indevidos dos resíduos de óleos lubrificantes. In: SEMOC – SEMANA DE MOBILIZAÇÃO CIENTÍFICA, 21, 2018, Salvador. **Anais [...]** Salvador: UCSAL, 2018. 8 p.

CHEPI, N. G.; PEYRAVI, M.; JAHANSHAHI, M. Ultrafiltration of O/W emulsion by dynamic polyester support: a comparison study between self-forming and pre-coated. **Chemical Papers**, Bratislava, p. 1-12, 2020.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 53, p. 58-63, mar. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n. 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, v. 92, p. 89, maio 2011.

ĆWIRKO, K.; TOMCZAK, E.; SZANIAWSKA, D.; BUCZKOWSKI, R. Pilot tests and fouling identification in the ultrafiltration of model oily and saline wastewaters. **Ecological Chemistry and Engineering S**, Opole, v. 26, n. 3, p. 493-507, 2019.

DANTAS, F. B. **Investigando os riscos de contaminação de vias hídricas pela indústria do petróleo**. 2015. 78 f. Monografia de Graduação (Bacharel em Geografia) Departamento de Geociências, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

DARAEI, P.; GHAEMI, N. Synergistic effect of Cloisite 15A and 30B nanofillers on the characteristics of nanocomposite polyethersulfone membrane. **Applied Clay Science**, v. 172, p. 96-105, 2019.

DICKHOUT, J. M.; MORENO, J.; BIESHEUVEL, P. M.; BOELS, L.; DE VOS, W. M.; LAMMERTINK, R. G. H. Produced water treatment by membranes: a review from a colloidal perspective. **Journal of colloid and interface science**, Copenhagen, v. 487, p. 523-534, 2017.

EBRAHIMI, M.; KERKER, S.; SCHMITZ, O.; SCHMIDT, A. A.; CZERMAK, P. Evaluation of the fouling potential of ceramic membrane configurations designed for the treatment of oilfield produced water. **Separation Science and Technology**, Fayetteville, v. 53, n. 2, p. 349-363, 2018.

EBRAHIMI, M.; SCHMIDT, A. A.; KAPLAN, C.; SCHMITZ, O.; CZERMAK, P. Innovative Optical-Sensing Technology for the Online Fouling Characterization of Silicon Carbide Membranes during the Treatment of Oily Water. **Sensors**, Bari, v. 20, n. 4, p. 1161, 2020.

FERNÁNDEZ, I.; ORTIZ, A.; DELGADO, F.; RENEDO, C.; PEREZ, S. Avaliação comparativa de fluidos alternativos para transformadores de potência. **Electric Power Systems Research**, Bologna, v. 98, p. 58-69, 2013.

FILTRELEC: Projeto, fabricação e distribuição de filtros de água anti-hidrocarbonetos para transformadores elétricos e equipamentos industriais. 2019. Disponível em: <https://www.filtrelec.com.br>. Acesso em: 17 mar. 2020.

GHAEMI, N.; NASIRMANESH, F. Synthesis of a hybrid organic-inorganic polyethersulfone membrane incorporated with phosphotungstic acid: controversial performance in removal of dinitroaniline herbicides from water. **Journal of Cleaner Production**, Brno, v. 182, p. 259-271, 2018.

KOVÁCS, I.; VERÉB, G.; KERTÉSZ, S.; BESZÉDES, S.; HODÚR, C.; LÁSZLÓ, Z. Investigação das propriedades de superfície e filtração de membranas de poliacrilonitrila de ultrafiltração revestidas com TiO₂. **Water Science and Technology**, Sydney, v. 77, n. 4, pág. 931-938, 2018.

LI, S.; CUI, Z.; ZHANG, L.; HE, B.; LI, J. The effect of sulfonated polysulfone on the compatibility and structure of polyethersulfone-based blend membranes. **Journal of Membrane Science**, v. 513, p. 1-11, 2016.

MAKWANA, D.; POLISETTI, V.; CASTAÑO, J.; RAY, P.; BAJAJ, H. C. Mg-Fe layered double hydroxide modified montmorillonite as hydrophilic nanofiller in polysulfone-polyvinylpyrrolidone blend ultrafiltration membranes: separation of oil-water mixture. **Applied Clay Science**, Guangzhou, v. 192, p. 105636, 2020.

NAIK, N. S.; PADAKI, M.; DÉON, S.; KARUNAKARAN, G.; DIZGE, N.; SAXENA, M. The efficient mixed matrix antifouling membrane for surfactant stabilized oil-in-water nanoemulsion separation. **Journal of Water Process Engineering**, Oxford, v. 32, p. 100959, 2019.

PADAKI, M.; SURYA MURALI, R.; ABDULLAH, M. S.; MISDAN, N.; MOSLEHYANI, A.; KASSIM, M. A.; HILAL, N.; ISMAIL, A. F. Membrane technology enhancement in oil–water separation. A review. **Desalination**, New York, v. 357, p. 197-207, 2015.

PETERS, M. D. J.; GODFREY, C. M.; KHALIL, H.; MCINERNEY, P.; PARKER, D.; SOARES, C. B. Guidance for conducting systematic scoping reviews. **International journal of evidence-based healthcare**, Adelaide, v. 13, n. 3, p. 141-146, 2015.

RAJASEKHAR, T.; TRINADH, M.; BABU, P. V.; SAINATH, A. V. S.; REDDY, A. V. R. Oil–water emulsion separation using ultrafiltration membranes based on novel blends of poly (vinylidene fluoride) and amphiphilic tri-block copolymer containing carboxylic acid functional group. **Journal of Membrane Science**, Singapore, v. 481, p. 82-93, 2015.

SANDERSON, K. **Avaliação da biodegradabilidade e toxicidade de fluidos dielétricos de transformadores em solo e meio aquático**. 2017. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química, Monitoramento e Controle Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2017.

SANTOS, O. S. H.; SILVA, M. C.; SILVA, V. R.; MUSSEL, W. N.; YOSHIDA, M. I. Polyurethane foam impregnated with lignin as a filler for the removal of crude oil from contaminated water. **Journal of hazardous materials**, New York, v. 324, p. 406-413, 2017.

SHEN, S.; HAO, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, G.; ZHOU, X.; BAI, R. B. Enhancing the Antifouling Properties of Poly(vinylidene fluoride) (PVDF) Membrane through a Novel Blending and Surface-Grafting Modification Approach. **ACS omega**, Tirupati, v. 3, n. 12, p. 17403-17415, 2018.

ZARGHAMI, S.; MOHAMMADI, T.; SADRZADEH, M.; VAN DER BRUGGEN, B. Superhydrophilic and underwater superoleophobic membranes-a review of synthesis methods. **Progress in Polymer Science**, Pittsburgh, v. 98, p. 101166, 2019.

ZHANG, G.; JIANG, J.; ZHANG, Q.; ZHAN, X.; CHEN, F. Amphiphilic poly (ether sulfone) membranes for oil/water separation: effect of sequence structure of the modifier. **AIChE Journal**, New York, v. 63, n. 2, p. 739-750, 2017.

ZHANG, Y.; WEI, S.; HU, Y., SUN, S. Membrane technology in wastewater treatment enhanced by functional nanomaterials. **Journal of Cleaner Production**, Brno, v. 197, p. 339-348, 2018.

ZHU, Y.; WANG, D.; JIANG, L.; JIN, J. Recent progress in developing advanced membranes for emulsified oil/water separation. **NPG Asia Materials**, Tokyo, v. 6, n. 5, p. e101, 2014.

ZHU, Y.; XIE, W.; LI, J.; XING, T.; JIN, J. pH-Induced non-fouling membrane for effective separation of oil-in-water emulsion. **Journal of Membrane Science**, Singapore, v. 477, p. 131-138, 2015.

ANÁLISE PROBABILÍSTICA E DETERMINÍSTICA DA ESTABILIDADE DE TALUDES EM BARRAGEM DE TERRA DO ESTADO DO CEARÁ

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 16/11/2020

Fernando Feitosa Monteiro

Universidade de Brasília
Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/3204932197766528>

Andressa de Araujo Carneiro

Universidade Federal do Piauí
Teresina – PI

<http://lattes.cnpq.br/0875241084102716>

Yago Machado Pereira de Matos

Universidade de Brasília
Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/5533205384020554>

Giovanna Monique Alelvan

Universidade de Brasília
Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/0411796546899865>

RESUMO: Devido ao alto grau de incertezas envolvidas nos projetos das barragens, bem como ao elevado número de barragens de terra existentes no Brasil, verifica-se a necessidade da utilização de metodologias que levem em consideração a variabilidade dos componentes envolvidos nas análises de estabilidade, uma vez que essas incertezas não são levadas em consideração nos métodos determinísticos convencionais. O presente trabalho tem o objetivo de avaliar a estabilidade do talude de montante de uma barragem de terra no estado do Ceará

durante sua fase final de construção, a partir de metodologias determinísticas e probabilísticas. Proporcionando um melhor entendimento da aplicação da análise probabilística na avaliação de risco em barragens de terra. Das análises probabilísticas realizadas, conclui-se que não existe uma diferença significativa entre as probabilidades de falha obtidas pelos métodos de FOSM e o método de Monte Carlo. O estudo ainda mostrou que a metodologia probabilística auxilia no cálculo da probabilidade intrínseca nos projetos de engenharia, contrapondo à falsa ideia de que altos FS implicam em projetos mais seguros.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Probabilística, Barragens de Terra, Estabilidade de Taludes.

PROBABILISTIC AND DETERMINISTIC SLOPE STABILITY ANALYSIS OF AN EARTH DAM IN THE STATE OF CEARÁ

ABSTRACT: Due to the high degree of uncertainty involved in dam projects, as well as the high number of earth dams in Brazil, there is a need to use methodologies that take into account the variability of the components involved in stability analyses, since these uncertainties are not taken into account in conventional deterministic methods. The present work aims to evaluate the stability of the upstream slope of an earth dam in the state of Ceará at its end of construction phase, based on deterministic and probabilistic methodologies. Providing a better understanding of the application of probabilistic analysis in earth dam risk assessment. From the probabilistic analysis performed, it is concluded that there is

no significant difference between the probabilities of failure obtained by the FOSM and the Monte Carlo methods. The study also demonstrated that the probabilistic methodology is useful in the evaluation of the intrinsic probability in engineering designs, as opposed to the false idea that high FS imply in safer projects.

KEYWORDS: Probabilistic Analysis, Earth Dams, Slope Stability.

1 | INTRODUÇÃO

As análises usuais de estabilidade de taludes são baseadas no método de equilíbrio limite obtendo-se um fator de segurança (FS). Os dados utilizados na análise são geralmente os valores médios, mas nem sempre estes dados são os mais representativos, devido às incertezas existentes, e principalmente às diferentes condições de composição dos solos. Em decorrência das inúmeras incertezas envolvidas nos projetos das barragens, bem como ao elevado número de barragens de terra existentes no Brasil, é necessária a utilização de metodologias que levem em consideração a variabilidade dos componentes envolvidos nas análises de estabilidade, uma vez que essas incertezas não são levadas em consideração nos métodos determinísticos convencionais (CRUZ, 1996). Nesse contexto, a análise probabilística se torna uma ferramenta adicional que permite quantificar as incertezas dos parâmetros de análise.

Sayão (2010) relata que, no período de 2002 a 2010, no Brasil foram registrados aproximadamente 800 incidentes com barragens, o que resulta em três a quatro falhas em barragens por dia, sendo verificados desde pequenos problemas de operação ou manutenção, até grandes desastres. Assim, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar a estabilidade do talude de montante de uma barragem de terra no estado do Ceará durante a fase final de construção, a partir de metodologias determinísticas e probabilísticas. Proporcionando uma melhor compreensão da aplicação da análise probabilística na avaliação de risco em barragens de terra.

2 | ESTABILIDADE DE TALUDES

2.1 Métodos determinísticos

Segundo Soares (1996), o enfoque determinístico nos métodos de estudo de estabilidade de taludes consiste em selecionar valores adequados para as variáveis dominantes e calcular seus fatores de segurança correspondentes a diversas situações de solicitação.

De acordo com Brito (2003), Fellenius apresentou o Método das Fatias em 1936, no Segundo Congresso de Grandes Barragens realizado em Washington. Esse método foi desenvolvido pela Comissão Sueca de Geotecnia e melhorado por Fellenius. O método admite uma superfície de ruptura circular e consiste em dividir a massa acima da superfície

de ruptura em fatias verticais, assumindo-se que as forças resultantes nos lados opostos de cada fatia são iguais e de sentidos opostos atuando numa mesma linha, paralela à base da fatia. Para resolver o problema, algumas hipóteses simplificadoras são necessárias. Estas hipóteses simplificadoras é que diferenciam os diversos métodos determinísticos, caracterizando-os como menos ou mais conservadores. O método de Bishop, tem como hipótese que a resultante das forças entre as fatias é horizontal. O fator de segurança é dado pela a seguinte equação:

$$FS = \frac{1}{\sum W \operatorname{sen} \alpha} \sum [c' + (W - ub) \operatorname{tg} \phi'] / m_{\alpha} \quad (1)$$

$$m_{\alpha} = \cos \alpha \left[1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \phi'}{FS_i} \right] \quad (2)$$

A solução resulta de um processo iterativo, no qual é arbitrado o valor do fator de segurança FS_i da Equação 2 e calcula-se o fator FS. O processo repete-se até que o valor calculado (FS) se iguale ao valor arbitrado (FS_i).

Araújo (2013) explica que a estabilidade dos taludes é analisada com o objetivo de se obter a superfície potencial de ruptura que demonstre o menor valor para o fator de segurança, calculado a partir de metodologias determinísticas, o qual é comparado a um valor admissível. Este valor admissível é normalmente estipulado em função das consequências da ruptura do talude, tanto em termos de prejuízos materiais, como no que concerne perdas de vidas humanas. No caso específico de obras de barragens, o Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE, 2003) sugere os valores mínimos para os fatores de segurança a serem adotados em cada etapa do projeto das barragens, conforme é indicado na Tabela 1.

Tipos de Taludes	Final de Construção	Fluxo Permanente de longo prazo	Rebaixamento Rápido
Taludes de Barragens, diques, aterros e taludes de escavação	1,3	1,5	1,0 - 1,2

Tabela 1. Fatores de segurança para taludes de barragens

2.2 Métodos probabilísticos

Fenton e Griffiths (2008) relatam que a variabilidade inerente aos solos e rochas sugere que os sistemas geotécnicos são altamente suscetíveis a interpretações estatísticas. Na abordagem estatística, a entrada das características do solo é feita em termos de médias e variâncias, levando a estimativas de probabilidade de falha (PF) e índice de confiabilidade (β). Este tipo de análise é baseado em alguns princípios dos métodos determinísticos (equilíbrio limite), mas sua maior vantagem é que podem ser quantificadas as incertezas inerentes.

A avaliação probabilística da estabilidade de um talude é realizada considerando-se usualmente o fator de segurança médio \overline{FS} como uma função de variáveis aleatórias X_i , independentes, que representam os parâmetros geotécnicos e/ou geométricos (Guedes, 1997). Obtêm-se a probabilidade de ruptura do talude como sendo igual à área sob a curva da distribuição de FS definida por $FS \leq 1,0$. Para isso, as variáveis envolvidas são normalmente representadas por curvas de distribuição normal, conforme sugerido por Priest e Brown (1983) e Sandroni e Sayão (1992).

Morlá-Catalán e Cornell (1976), considerando o fator de segurança como normalmente distribuído, chegaram à seguinte formulação para o índice β :

$$\beta = \frac{\overline{FS} - 1}{\sigma_{FS}} \quad (3)$$

O índice de confiabilidade indica o número de desvios-padrão que distancia a ruptura do coeficiente de segurança encontrado. O valor de β complementa o valor de FS e permite estimar a probabilidade de ruptura. Este índice pode ser relacionado com a probabilidade de ruptura, $P[R]$, desde que se conheça a forma da distribuição de FS. A Figura 1 mostra a relação entre β e $P[R]$, para o caso de distribuição Normal (Gaussiana), do coeficiente de segurança (Assis et al., 2001).

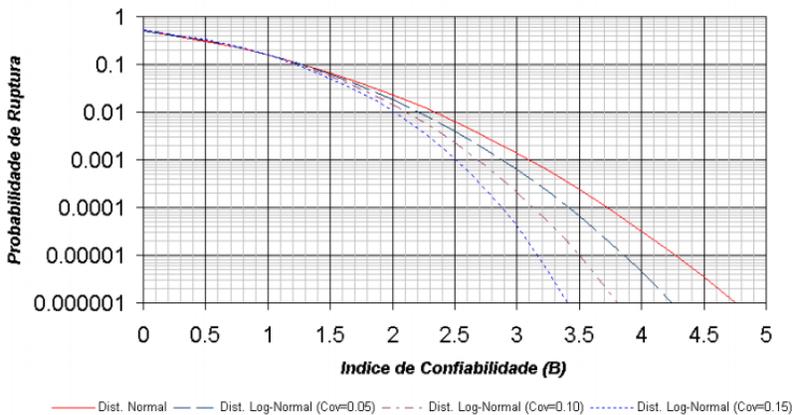


Figura 1. Relação entre β e $P[R]$ para distribuição normal do coeficiente de segurança

Segundo Baecher (1982), a Figura 2 mostra diferentes probabilidades de ruptura aceitáveis para diferentes tipos de obra. No caso de barragens uma probabilidade de ruptura da ordem de 10^{-4} pode ser aceitável.

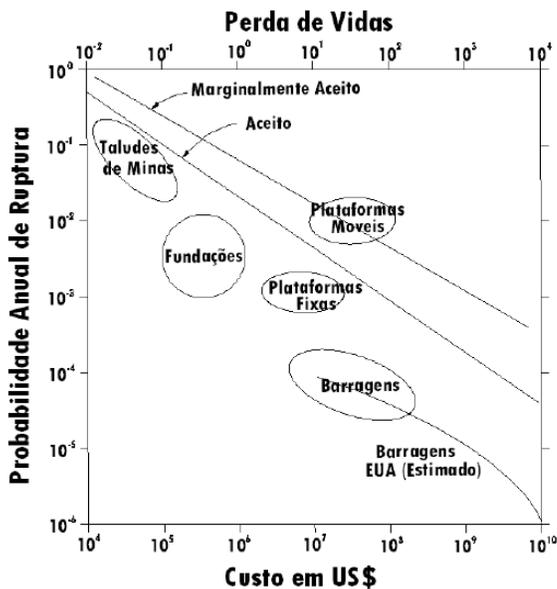


Figura 2. Probabilidade de rupturas admissíveis

Wolff (1996) propôs que, em análises de estabilidade de taludes comuns, seja designada uma probabilidade de ruptura de 10^{-3} (índice de confiabilidade de 3), como aceitável. No caso de taludes críticos, como os das barragens, sugere-se uma probabilidade

de ruptura de 3×10^{-5} (índice de confiabilidade de 4), como aceitável. Já a “British Columbia Hydro” (Nielsen et al, 1994) propôs probabilidades de ruptura de 10^{-4} como aceitáveis para barragens.

Harr (1987) descreve que a ideia básica do método FOSM (First Order Second Moment) é expressar a função de performance (fator de segurança) como uma função de diferentes variáveis aleatórias consideradas na análise estatística. O método é chamado de Segundo Momento porque usa a variância (segundo momento da função de performance). É também referido como sendo de 1ª ordem porque usa só a primeira derivada da série de Taylor (Linear). O procedimento consiste em variar separadamente cada parâmetro, observando-se a variação correspondente do valor da função de performance ou desempenho FS. A aproximação da derivada parcial de cada parâmetro é então obtida através da razão entre a variação observada de FS e a variação estipulada para cada parâmetro.

Do grupo de métodos probabilísticos exatos, a metodologia mais empregada é a de Monte Carlo. Assis et al. (2001) relatam que o método de Monte Carlo objetiva encontrar uma solução numérica aproximada da distribuição de probabilidade da variável dependente y , definida por uma função de engenharia, por meio de amostragens aleatórias de valores das variáveis independentes X_i e sucessivas avaliações da referida função. Repetindo este procedimento N vezes, tem-se uma amostra de valores discretos da variável y , e, portanto, pode-se calcular sua média, seu desvio-padrão, plotar o histograma de frequências e obter a distribuição probabilística que possui o melhor ajuste. Se o procedimento é repetido sucessivamente, fazendo com que o número de simulações N seja cada vez maior, tendendo a infinito, as estatísticas amostrais e a forma da distribuição de probabilidade da variável y tendem para o valor populacional, ou seja, a solução pode ser considerada exata.

3 | ESTUDO DE CASO

A barragem analisada está localizada no município de Aquiraz, no estado do Ceará. Geologicamente, a região de implantação desta barragem, foi caracterizada pela presença do Complexo Caicó, Grupo Barreiras e aluviões. O Complexo Caicó, cristalino, constitui-se por gnaisses, de coloração cinza clara, e magmáticos. O Grupo Barreiras, responsável por cerca de 95% da cobertura da região, é representado por argilas variegadas e arenitos avermelhados, incluindo seixos de quartzo e rochas cristalinas diversas. Na região litorânea ocorre como um espesso pacote de material areno argiloso, já nas porções mais próximas à costa, a lixiviação contribui para carrear material argiloso, resultando uma cobertura superior mais arenosa (SRH, 1998).

Após análise das alternativas para o barramento, baseando-se nos estudos técnicos e econômicos, arranjo geométrico escolhido foi o apresentado na Figura 3. Observa-se que a seção tipo possui inclinações suaves. O maciço foi constituído por um solo de alteração

de origem gnáissica, proveniente das escavações do vertedouro. Este solo foi caracterizado como areia argilo-siltosa, e granulometria variada, com pedregulhos de quartzo, feldspato e mica.

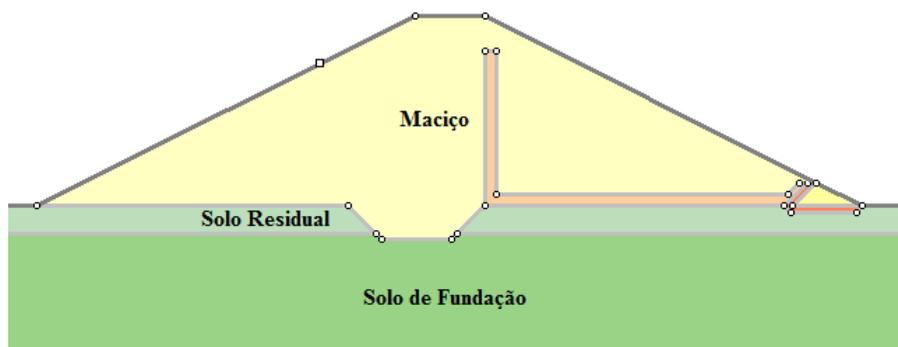


Figura 3. Seção da Barragem

A barragem possui uma altura de aproximadamente de 16 metros, talude de montante com inclinação de 1(V):2(H), e talude de jusante com inclinação 1(V):2(H). A Tabela 2 apresenta os parâmetros dos solos que constituem a barragem.

Solo	ϕ ($^{\circ}$)	c (kPa)	γ (kN/m ³)
Maciço	27,4	6,4	17,6
Residual	30	0	18,5
Fundação	30	0	18,5

Tabela 2. Parâmetros dos solos analisados

Para a análise de estabilidade a partir dos métodos determinísticos e probabilísticos, o estudo avaliou a fase de final de construção da barragem. A metodologia determinística utilizada para estimar o fator de segurança foi a de Bishop. Quanto aos métodos probabilísticos, empregou-se os métodos de FOSM e Monte Carlo. Os coeficientes de variação adotados nas análises probabilísticas para todos os tipos de solo foram: peso específico igual a 3%, coesão efetiva igual a 40% e o ângulo efetivo de resistência igual a 10%.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Segundo momento de primeira ordem (FOSM)

Para a análise da estabilidade do talude de montante, foi utilizado o programa SLIDE. No estudo de estabilidade foram consideradas as variações das características dos solos apresentadas na Tabela 3. Para a determinação da variância do fator de segurança, foi seguida a recomendação de Farias e Assis (1998), empregando-se incrementos iguais a 10% nos parâmetros dos solos.

A Tabela 3 apresenta a metodologia de FOSM para a determinação do índice de confiabilidade (β) e das contribuições relativas de cada parâmetro. As análises foram determinadas pelo método de Bishop, considerando a etapa de final de construção da barragem, e o fator de segurança médio $\overline{FS} = 1,416$. Considerando $V[FS] = 0,026$, calculado na Tabela 3, obtêm-se o desvio padrão do fator de segurança $\sigma[FS] = 0,142$. Com base na Equação 3, calcula-se o índice de confiabilidade $\beta = 2,56$, que corresponde a probabilidade de falha de 6×10^{-3} .

Parâmetro	X_i	δX_i	δFSi	$V[X_i]$	$(\delta FSi / \delta X_i)^2 \cdot V[X_i]$	Contribuição (%)	
Maciço	γ (kN/m ³)	17,60	1,76	-0,019	0,28	0,000032	0,12
	ϕ (o)	27,40	2,74	0,133	7,51	0,017689	67,05
	c (kPa)	6,40	0,64	0,023	6,55	0,008464	32,08
Solo Residual	γ (kN/m ³)	18,50	1,85	0,002	0,31	0,000000	0,00
	ϕ (o)	30,00	3,00	0,014	9,00	0,000196	0,74
	c (kPa)	0,00	0,00	-0,089	0,00	0,000000	0,00
Solo de Fundação	γ (kN/m ³)	18,50	1,85	0,000	0,31	0,000000	0,00
	ϕ (o)	30,00	3,00	0,000	9,00	0,000000	0,00
	c (kPa)	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000000	0,00
$V[FS] =$					0,026	100	

Tabela 3. Metodologia FOSM

4.2 Método de Monte Carlo

Foram realizadas simulações com 1000, 10000, 100000, 1000000 e 10000000 valores para os 5 parâmetros de incertezas que fazem parte do cálculo do fator de segurança. A geração aleatória pode ser realizada através do software SLIDE, empregando os dados de acordo com a Tabela 4.

Parâmetros		Média	Desvio Padrão	Relativo Mínimo	Relativo Máximo
Maciço	γ (kN/m ³)	17,60	0,53	1,06	1,06
	ϕ (o)	27,40	2,74	5,48	5,48
	c (kPa)	6,40	2,56	5,12	5,12
Solo Residual	γ (kN/m ³)	18,50	0,56	1,11	1,11
	ϕ (o)	30,00	3,00	6,00	6,00
	c (kPa)	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabela 4. Parâmetros de entrada - Monte Carlo

Os valores mínimos (R_{\min}) e máximo relativos (R_{\max}) representam a distância destes valores até o valor da média da distribuição. Para a análise utilizando a distribuição normal, adotou-se um nível de confiança de 95,0%, ou seja, um intervalo de dois desvios padrão para as análises utilizando o método de Monte Carlo. De posse desses dados, calcula-se diretamente a média e o desvio padrão do FS possibilitando, assim, a determinação do índice de confiabilidade (β), como visto na Tabela 5.

Número de Simulações	E [F]	σ [F]	FSmin	FSmax	β
1000	1,43	0,141	1,064	1,848	3,08
10000	1,43	0,141	1,021	1,867	3,05
100000	1,43	0,141	0,984	1,902	3,05
1000000	1,43	0,141	0,989	1,898	3,04

Tabela 5. Resultados das simulações Monte Carlo

Ao observar a evolução dos valores das estatísticas (média, desvio padrão, probabilidade de falha etc.) e da forma da distribuição de probabilidade com a evolução com o número de simulações. Percebe-se a não ocorrência de variações destes valores com o aumento do número de simulações, aceitando-se o resultado da simulação de Monte Carlo. Verificando-se um índice de confiabilidade (β) de 3,05 e uma probabilidade de falha de $1,5 \times 10^{-3}$.

Avaliando o resultado da metodologia determinística isoladamente, verifica-se um fator de segurança de 1,416, que de acordo com a USACE (2003), indica que o talude de montante da barragem analisada é considerado estável para a fase de final de construção. Ao passo que nas análises probabilísticas, o talude estudado apresenta uma probabilidade

de falha superior as recomendações por Baecher (1982), Wolff (1986) e Nielsen et al (1994). Esta inconsistência está relacionada à desconsideração das incertezas dos parâmetros geotécnicos nas análises convencionais de estabilidade de taludes.

5 I CONCLUSÕES

Observa-se que as imprecisões nos dados de projeto dos parâmetros geotécnicos do solo podem influenciar na incerteza do fator de segurança e que os erros sistemáticos e a dispersão das amostras são as principais causas de indefinições. A análise probabilística associada a análise determinística, pode auxiliar na análise dos requisitos de segurança dos taludes de barragens, de maneira a tornar mais perceptíveis os riscos envolvidos, os quais podem afetar de modo significativo a estabilidade de taludes em barragens de terra.

Das análises probabilísticas realizadas, conclui-se que não existe uma diferença significativa entre as probabilidades de falha obtidas pelos métodos de FOSM e o método de Monte Carlo. Indicando que o método de FOSM é aceitável para a prática, devido à sua simplicidade de cálculo e à obtenção de informações adicionais (porcentagens de cada parâmetro na variância do fator de segurança). Segundo a metodologia de FOSM, os parâmetros que apresentaram maior influência na estabilidade do talude de montante analisado foram a coesão e o ângulo de atrito do solo do maciço. A partir das análises determinísticas e probabilísticas, percebe-se que o fator de segurança estimado por métodos determinísticos pode apresentar uma análise de estabilidade equivocada. Assim, o fator de segurança proporciona um falso senso de segurança, quando analisado isoladamente. Portanto, ele não é um indicador suficiente para concluir pela segurança do talude.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F. R. **Risco Geotécnico: Uma Abordagem Estocástica para Análise de Estabilidade de Taludes da Barragem Olho D'Água no estado do Ceará.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Ceará, 2013, 130p.

ASSIS, A.P., ESPÓSITO, T.J., GARDONI, M.G. & SILVA, P.D.E.A. (2001). **Métodos Estatísticos Aplicados a Geotecnia.** Publicação G.AP-002/01, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 177 p.

BAECHER G. B. (1982). **Statistical Methods in Site Characterization. Updating Subsurface Samplings of Soils and Rocks and their In-situ Testing.** Santa Barbara, Engineering Foundation, pp. 463-492.

BRITO, C. B. – **Programação Dinâmica Aplicada à Análise de Estabilidade de Taludes Não Saturados.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, 2003, 47p.

CRUZ, Paulo Teixeira da. **100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção.** São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

FARIAS, M.M. & ASSIS, A.P. (1998). **Uma Comparação entre Métodos Probabilísticos Aplicados à Estabilidade de Taludes**. XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – XI COBRAMSEG. ABMS, Brasília, DF, 2: 1305 – 1313.

FENTON, Gordon A.; GRIFFITHS, D. V. **Risk Assessment in Geotechnical Engineering**. John Wiley & Sons, New Jersey, 2008.

GUEDES, M. C. S. (1997) **Considerações sobre Análise Probabilística da Estabilidade de Taludes**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, 146 p.

HARR, M.E. (1987). **Reliability-Based Design in Civil Engineering**. Mc Graw – Hill, New York, NY.

MORLÁ-CATALÁN, J.; CORNELL, C.A. (1976) **Earth Slope Reliability by a Level-Crossing Method**. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102 (GT6): 591-604.

NIELSEN, N., HARTFORD, D., & MACDONALD, T. (1994). **Selection of Tolerable Risk Criteria in Dam Safety Decision Making**. Proc. Canadian. Dam Safety Conf. Bitech Publishers, Vancouver, B. C.

PRIEST, S.D.; BROWN, E.T. (1983) **Probabilistic Stability Analysis of Variable Rock Slopes**. Institution of Mining and Metallurgy, Section A, London.

SANDRONI, S.S. e SAYÃO, A.S.F.J. (1992) **Avaliação Estatística do Coeficiente de Segurança de Taludes**. 1ª Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, COBRAE, vol. 2, 523-536.

SAYÃO, Alberto. Palestra Técnica: **Considerações Geotécnicas sobre a Segurança de Barragens**. **Revista Geotecnia & Fundações**, 2010. Disponível em: <http://www.revistafundacoes.com.br/pdf/revista%2002/Palestra%20t%C3%A9cnica> . Acesso em 10 jun, 2017.

SRH – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará. **Projeto Executivo da Barragem Catu - Tomo III - Relatório Geral - Vol 1- Memorial Descritivo**. Kl. Tomo III, 1988.

SOARES, E. P. – **Análise de Estabilidade de um Talude da Mina de Águas Claras – MBR: Uma Visão Probabilística**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, 1996, 66p.

U.S ARMY CORPS OF ENGINEER. **Slope Stability Manual. Engineering and design**. 31 Oct. 2003. Disponível em: http://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1902.pdf. Acesso em 15 jun, 2017.

WOLFF, T. F. 1996. **Probabilistic Slope Stability in Theory and Practice**. Uncertainty in the geologic environment: From theory to practice, Geotechnical Special Publication No. 58, C. D. Shackelford et al., eds., ASCE, New York, 419– 433.

CAPÍTULO 19

A GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS MUNICIPAIS: CONCEPÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL DE BANCO DE DADOS APLICADO ÀS PONTES, VIADUTOS E PASSARELAS

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 27/10/2020

André Felipe Bozio

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial - PPGTG
Florianópolis – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/9852869548376378>
ORCID: 0000-0001-8670-5594

Vivian da Silva Celestino Reginato

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial - PPGTG
Florianópolis – Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/6603470387188708>
ORCID: 0000-0003-3543-7977

RESUMO: No nível municipal, a gestão de obras de arte especiais (OEA) ainda é incipiente no Brasil. De maneira a gerenciá-las é necessário conhecer suas tipologias, funcionamentos e anomalias, sendo estas, armazenadas de forma estruturada dentro de uma base de dados funcional. Por este objeto geográfico ser complexo, contendo dentro de uma mesma obra diversos atributos, surge a necessidade de utilizar ferramentas como a modelagem conceitual para definir classes, atributos, relacionamentos e demais padronizações referentes. Objetiva-se neste trabalho estruturar um modelo conceitual aplicado à gestão das OAE em âmbito municipal, contemplando prioritariamente as pontes,

viadutos e passarelas. A partir de uma análise de atributos, embasada pelas normas vigentes no Brasil, foram estruturados e produzidos, como resultados, um diagrama de classes e os dicionários de dados das classes, seguindo os estereótipos da *Object Modelling Technique – Geographic* (OMT-G). Desta forma foi possível especificar as abstrações realizadas por meio da modelagem conceitual e concluir que a estruturação de um banco de dados de forma padronizada é um importante instrumento de gestão territorial que pode ser utilizado por gestores e projetistas no controle e intervenção em OAE, se tornando um subsídio à tomada de decisão.

PALAVRAS-CHAVE: Obras de Arte Especiais (OEA); Modelagem Conceitual; Banco de Dados Geográfico (BDG); Gestão Territorial.

CONCEPTUAL MODEL APPLIED TO THE MANAGEMENT OF MUNICIPAL STRUCTURAL ART: CASE STUDY IN BRIDGES, VIADUCTS AND FOOTBRIDGES

ABSTRACT: At the municipal context, the management of Structural Art is still incipient in Brazil. In order to manage them, it is necessary to know their typologies, operations and anomalies, which are stored in a structured way within a functional database. Because this geographic object is complex, containing several attributes within the same point, there is a need to use tools such as Conceptual Modeling to define classes, attributes, relationships and other related standards. The objective of this work is to structure a conceptual model applied to

the management of Structural Art at the municipal context, priority to bridges, viaducts and walkways. Based on an analysis of attributes, on the norms in force in Brazil, a class diagram and its respective data dictionaries were structured and produced as results, following the Object Modeling Technique - Geographic (OMT-G) model. In this way it was possible to specify the abstractions carried out through conceptual modeling and conclude that the structuring of a database in a standardized way is an important territorial management tool that can be used by managers and designers in the control and intervention in Structural Art, becoming an aid to decision making.

KEYWORDS: Management of Structural Art; Conceptual Modeling; Geodatabase; Land Management.

1 | INTRODUÇÃO

As Obras de Arte Especiais (OEA) são elementos fundamentais na infraestrutura civil, haja vista que são necessárias para transpor barreiras da natureza, portanto são localadas em ambientes estratégicos e resultam em consequências desastrosas quando desmoronam ou suas estruturas são prejudicadas. Para isto, conhecer o objeto e aliá-lo à um preceito de gerenciamento é pré-requisito para um sistema de transporte horizontal bem-sucedido (OLIVEIRA; GRECO; BITTENCOURT, 2019). Um exemplo atual de desmoronamento devido a estrutura prejudicada ocorreu no viaduto *Polcevera* da Autoestrada A10, também conhecido como ponte *Morandi*, em Gênova em agosto de 2018, causando a morte de 43 pessoas.

Pelo fato de este tipo de objeto geográfico ser complexo, contendo dentro de uma mesma obra diversos atributos, surge a necessidade da utilização de ferramentas como a modelagem conceitual, de forma a definir as classes, atributos, relacionamentos e demais padronizações referentes. Segundo a literatura, é incipiente o desenvolvimento de sistemas contendo banco de dados (BD) relacionados a este contexto, mais precisamente no âmbito municipal. As diretrizes que são embasadas pelas normas restringem-se apenas ao aspecto rodoviário, justificando a falta de legislação na esfera municipal. Desta forma, a carência no domínio dos dados e informações relacionadas às OAE por meio dos órgãos públicos municipais torna-se uma limitação nas tomadas de decisão acerca de melhorias pontuais em cada obra, planejamento viário e composição de custos de manutenção.

Destarte, o objetivo deste artigo é estruturar um modelo conceitual de banco de dados de forma a subsidiar a gestão de Obras de Artes Especiais no contexto municipal, sintetizando os principais atributos relacionados às inspeções e ao gerenciamento deste tipo de obra. Este estudo contribui no campo da engenharia ao apresentar um modelo padronizado e organizado por meio de técnicas consolidadas na literatura, as quais facilitarão os gestores municipais e entidades governamentais nas fases de diagnóstico, planejamento e gestão do território, podendo ser propulsor e exemplo para diversos outros bancos de dados geográficos relacionados à obras dentro de uma cidade.

21 GESTÃO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

O impulso para o surgimento de legislações acerca das inspeções e gestão das OAE ocorreu em 1967, nos Estados Unidos, mais precisamente na ponte *Silver Bridge* em seus 40 anos de vida útil, que ao desmoronar deixou 46 pessoas mortas (SMALL; PHILBIN; FRAHER; ROMACK, 1999). A partir dos anos 80, com o advento da informática, estes sistemas de gerenciamento saíram do analógico e migraram para o meio digital, melhorando os níveis e a velocidade na qualidade dos dados e nas suas análises (RYALL e RYALL, 2001).

Diante disso as OEA, sendo as pontes, viadutos e passarelas as mais conhecidas, são objetos geográficos de grande importância para o desenvolvimento econômico e social de um país, estando sujeitas a todos os tipos de esforços e ações deteriorantes do meio ambiente, exemplificados por desgastes naturais e acidentais durante toda a sua vida útil (ARAÚJO, 2017).

As atividades de gerenciamento e programação de inspeções deste tipo de obra com os devidos registros dos dados para posterior análise, acarretando tomadas de decisões acerca de sua manutenção, é conhecida como gestão de pontes, ou *management bridge* (HURT e SCHROCK, 2016). Atualmente no Brasil existem diversos métodos de inspeção de pontes, em paralelo aos múltiplos modelos criados por empresas terceiras contratadas para este tipo de inspeção (OLIVEIRA; GRECO; ROMEIRO; LIMA; COUTO, 2019).

De acordo com as legislações vigentes em âmbito nacional, com maior utilização no Brasil, contemplam-se as normas de inspeção de OAE, a NBR 9452 (ABNT, 2016) a qual estabelece um conjunto de diretrizes para as atividades de inspeções, facilitando a interpretação dos dados levantados e subsidiando de forma eficaz as tomadas de decisões a respeito das manutenções (ARAÚJO, 2017). A norma PRO 010 (DNIT, 2004) estabelece igualmente condições para a realização deste tipo de serviço, trazendo ainda um conjunto de tabelas de inspeção acerca dos principais atributos que devem ser levados em consideração neste contexto de aplicação (DNIT, 2004), sendo esta utilizada pelo próprio órgão e pela Agência Nacional de Infraestrutura e Transporte (ANTT).

Além destas normas nacionais, são criados, a partir de empresas terceiras, procedimentos próprios de inspeção e/ou para complementar estas análises exigidas. De acordo com Oliveira (2013), que analisou diversos relatórios provenientes destas empresas, constatou-se uma ausência de padronização relacionada ao registro destas informações e falta de uniformização acerca dos critérios adotados, acarretando um grande viés qualitativo com diferentes níveis de detalhamentos dos dados. Já de acordo com Almeida (2013), as metodologias para implementação de um sistema que gerencie este tipo de obra são bastante diversificadas, fato explicado pela dependência com o contexto do parque de OAE, pelo país em que se está aplicando e também pelos tipos de entidades que os desenvolvem.

3 I MODELAGEM GEOGRÁFICA CONCEITUAL

Diante do contexto de aplicação em OEA, onde inúmeros objetos geográficos são especializados dentro de um sistema, o processo de abstração inerente é denominado modelagem geográfica (COUGO, 1997). Por meio desta abstração da realidade, um modelo de dados subsidia a descrição e a representação destes tipos de objetos em ambiente digital, acarretando inúmeros benefícios relacionados às formas de armazenamento e controlando significativamente as operações analíticas realizadas (LONGLEY; GOODCHILD; MAGUIRE, 2005). Por conseguinte, um modelo de dados geográficos objetiva trazer um significado capaz de representar de forma digital um determinado dado que represente um fenômeno (COUTO; BRITES; BIAS; TEIXEIRA; SOUSA, 2017).

Dentro de um projeto de BD, existem três grandes níveis de modelagem: conceitual, lógico e físico, sendo o universo conceitual o que permite a maior abstração dos dados geográficos, tornando-os independentes de critérios de armazenagem e *softwares* para implementação (ELMASRI e NAVATHE, 2015).

A primeira etapa da modelagem conceitual consiste na “análise de requisitos” para definir o objetivo do BD (TEOREY; LIGHTSTONE; NADEAU, 2014). Para descrever o conteúdo, as estruturas e regras a eles aplicáveis é necessária a segunda etapa, que é o “esquema conceitual” ou “diagrama de classes”, construído por meio de uma linguagem que demonstra como os dados devem ser coletados, organizados e relacionados entre si, para atender a uma determinada demanda (QUEIROZ e FERREIRA, 2006). A terceira etapa é composta pela escrita do dicionário de dados que é a estruturação das representações dos atributos de cada classe e seus domínios, organizados através de tabelas (REGINATO; HUBNER; ABATI, 2020).

Existem diversos modelos conceituais para diferentes exigências. Todavia, os modelos Orientados à Objeto (OO) são utilizados quando é necessário: suportar a diferenciação entre fenômenos geográficos e convencionais e seus relacionamentos; modelar as visões de campo e objeto; modelar as características espaciais dos dados; representar a topologia e suas propriedades (associações); organizar os fenômenos por níveis de informação e; ser independente de implementação (*software*). Tendo em vista estas premissas, o modelo OO mais utilizado é o OMT-G (BORGES; DAVIS JR; LAENDER, 2001).

O OMT-G é baseado em três conceitos básicos: classes, relacionamentos e restrições de integridade espacial. Por meio das classes e relacionamentos, estrutura-se os diagramas de classes que consistem em esquemas estáticos de aplicação. A partir do diagrama de classes, deve-se determinar as possíveis restrições de integridade espaciais, as quais devem ser consideradas na fase de implementação do Banco de Dados Geográficos (BDG) (BORGES *et al.*, 2001).

São dois os tipos de classes possíveis: georreferenciadas e convencionais. As

classes georreferenciadas possuem localização geográfica na superfície terrestre (BORGES *et al.*, 2001), representando a visão de campos e objetos. Já as classes convencionais têm a função de descrever um conjunto de objetos, com propriedades, comportamento, relacionamentos e semânticas semelhantes e que, conseqüentemente, possuem uma relação com os objetos espaciais das classes georreferenciadas (BORGES *et al.*, 2001).

4 | MATERIAIS E MÉTODO

Com o intuito de responder aos objetivos da pesquisa, foram definidos alguns procedimentos metodológicos. Primeiramente foram levantados as variáveis e atributos necessários à inspeção das OEA, baseados na norma de inspeções de pontes e viadutos de concreto armado e protendido PRO 010 (DNIT, 2004). Com o auxílio das tabelas estabelecidas por esta norma foram descritas as principais classes e seus atributos, por meio de um inventário dos itens que devem ser levantados acerca de uma OAE. Assim foi possível: analisar e estabelecer os requisitos básicos para o levantamento, catalogação e gestão de OEA e estruturar o modelo conceitual, onde foram utilizados parâmetros OMT-G. Para o desenho do diagrama de classes foi utilizado o *Stencil OMT-G* do *Microsoft Visio* 2010. O modelo foi diagramado em classes: Município; OAE; características funcionais; características estruturais; tabela de inspeção e; tabela de registro fotográfico.

A partir da definição das classes e seus atributos, seus relacionamentos e, por fim, sua diagramação, os dados foram detalhados e padronizados por meio de dicionários. Para a elaboração deste documento foram contempladas as seguintes informações: nome da classe e sua descrição, primitiva geométrica e sua representação, seus atributos, tipo de dados, tamanho, precisão, possibilidade de valores nulos, domínios, descrições e exemplos.

5 | RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados da pesquisa na forma de produtos. Mostra-se que o desenvolvimento do modelo conceitual permitiu uma análise dos requisitos básicos e uma padronização dos tipos de dados que estruturaram um sistema de gestão de OEA em um contexto municipal.

O diagrama de classes foi produzido com seis classes, sendo duas georreferenciadas (objetos) e quatro convencionais (tabelas). A Figura 1 apresenta o diagrama de classes proposto de forma a delimitar os relacionamentos e as cardinalidades entre os objetos, onde a partir da classe “MUNICIPIO” estão contidas as “OAE” e que, a partir delas são integradas quatro tabelas: “TB_INSPECAO_PERIODICA” (elementos acerca das inspeções de forma a construir-se um BD que servirá de base para possíveis intervenções); “TB_CHARACTERISTICAS ESTRUTURAIIS” (elementos técnicos da ponte); “TB_CHARACTERISTICAS_FUNCIONAIS” (funcionalidade de determinada OAE) e;

“TB_IMAGEM” (registro fotográfico). A cardinalidade apresenta a quantidade de objetos que podem estar contidos dentro de uma mesma classe, por exemplo, existem muitas características estruturais para cada OAE. Assim como para cada município (1) existem de 1 a muitas OEA (1*).

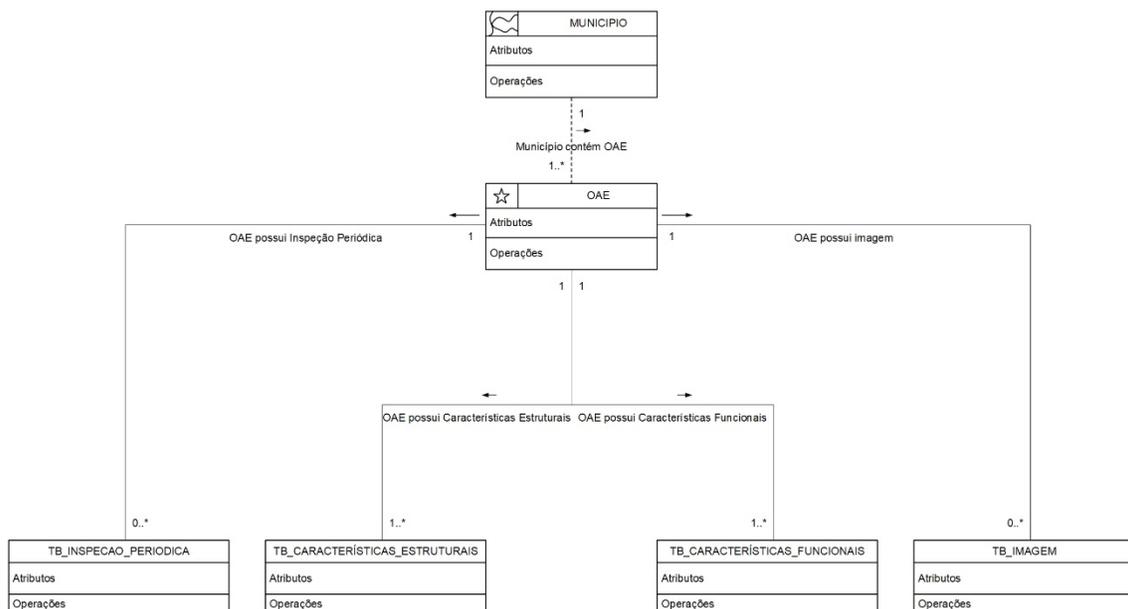


Figura 1 - Diagrama de Classes produzido para o modelo conceitual proposto

Foram produzidos seis dicionários de dados para as classes modeladas no diagrama de classes apresentado na Figura 01. Foram detalhados os tipos de dados (*String, Boolean, Float, Date, Integer*, entre outros.), o tamanho (quantidade de caracteres alfanuméricos permitidos dentro do BD), possibilidade de valores nulos, breve descrição acerca do atributo, modo de preenchimento no banco (automático, a ser preenchido, a ser selecionado), e um exemplo norteador. Ver os dicionários de dados produzidos nos Quadros 1, 2, 3, 4, 5 e 6, por meio dos quais foi possível estruturar para cada classe, os atributos contidos dentro das mesmas, de maneira a detalhar a forma pela qual o dado será armazenado ou como o objeto geográfico será abstraído da realidade, transformando-o em uma linguagem computacional.

Classe	Descrição					Primitiva Geométrica	Representação
MUNICÍPIO	Classe geográfica correspondente à divisão político-administrativa municipal do Brasil, de acordo com a estrutura político-administrativo vigente em 30/04/2018 publicada pelo IBGE					Polígono Adjacente	
Atributo	Tipo de dado	Tamanho	Precisão	Null Values	Descrição	Domínio	Descrição
GEOCODIGO_MUNICÍPIO	Text	7	-	NO	Código numérico do município atribuído pelo IBGE utilizado para relacionamentos no banco (chave primária)	Automático	Ex.: 4202008
NOME_MUNICÍPIO	Text	50	-	NO	Nome do município por extenso	Automático	Ex.: Lages
POPULACAO_MUNICÍPIO	Integer	7	-	NO	População estimada pelo IBGE em 2019 (habitantes)	Automático	Ex.: 108089
AREA_MUNICÍPIO	Double	6	3	NO	Área total do município expressa em quilômetros quadrados (km ²)	A ser calculado	Ex: 45,214
PERIMETRO_MUNICÍPIO	Float	8	2	NO	Perímetro do município expresso em metros (m)	A ser calculado	Ex: 5000,00
COORDENADA N	Float	7	2	NO	Coordenada Norte do ponto referente a Sede do Município na Projeção <i>Universal Transversa de Mercator</i> (UTM) em metros (m)	A ser calculado	Ex.: 7000000
COORDENADA E	Float	6	2	NO	Coordenada Leste do ponto referente a Sede do Município na Projeção UTM em metros (m)	A ser calculado	Ex.: 700000
LATITUDE	Float	2	4	NO	Latitude Geográfica do ponto referente a Sede do Município em graus decimais	Automático	Ex.: -26,3525
LONGITUDE	Float	2	4	NO	Longitude Geográfica do ponto referente a Sede do Município em graus decimais	Automático	Ex.: -48,5525
DENSIDADE_DEMOGRAFICA	Double	8	2	NO	População dividida pela área do município	A ser calculado	Ex.: 2337,67

Quadro 1 - Dicionário de dados da classe “MUNICÍPIO”.

O Quadro 1 retrata a abstração acerca do município que contemplará o parque de OAE e, para isto, foram levantados 10 atributos que caracterizam o mesmo. Os atributos contidos nesta classe caracterizam a área de estudo em que o parque de OAE está delimitado. O atributo “GEOCODIGO_MUNICÍPIO” objetiva tornar-se chave primária para relacionamentos com as outras classes e é automaticamente relacionado aos atributos do IBGE.

Classe	Descrição					Primitiva geométrica	Representação
OAE	Classe geográfica correspondente à Obra de Arte Especial contida dentro do município					Ponto	
Atributo	Tipo de dado	Tamanho	Precisão	Null Values	Descrição	Domínio	Descrição
GEOCODIGO_MUNICÍPIO	Text	7	-	NO	Código numérico do município atribuído pelo IBGE utilizado para relacionamentos no banco (chave primária)	A ser preenchido	Ex: 4202008
CODIGO_OAE	Text	20	-	NO	Código numérico da Obra de Arte Especial utilizado para relacionamentos no banco (chave primária)	A ser preenchido	Ex.: 4202008PO01
NOME_OAE	Text	50	-	NO	Nome da Obra de Arte Especial por extenso	A ser preenchido	Ex.: Mario Olinger
TIPO ESTRUTURAL	Text	32	-	NO	Tipo da estrutura básica da Obra de Arte Especial	A ser selecionado	Viga de Concreto Armado Viga de Concreto Protendido Viga e Laje Metálicas Mista (Viga Metal e Laje Concreto) Arco Inferior de Concreto Armado Arco Inferior de Concreto Protendido Arco Inferior Metálico Arco Superior de Concreto Armado Arco Superior de Concreto Protendido Arco Superior Metálico Arco de Alvenaria de Pedra Treliça Metálica Laje de Concreto Armado Laje de Concreto Protendido Madeira Estaiada com Vigamento Metálico Estaiada com Vigamento de C. Protendido Pênsil Não Informado

NAT_ TRANSPOSICAO	Text	28	-	NO	Tipo de Obra de Arte Especial	A ser selecionado	Ponte
							Pontilhão
							Viaduto de Transposição de Rodovia
							Viaduto sobre Ferrovia
							Viaduto sobre Rodovia / Rua
							Viaduto em Encosta
							Passagem Inferior
							Passagem de Pedestre
SISTEMA_ CONSTRUTIVO	Text	35	-	NO	Tipo de sistema construtivo da Obra de Arte Especial	A ser selecionado	Moldado no Local
							Pré-moldado de Concreto Armado
							Pré-moldado Protendido (Pós-tensão)
							Pré-moldado Protendido (Pré-tensão)
							Balanços Progressivos c/ Continuidades
							Balanços Progressivos c/ Articulações
							Aduelas Pré-moldadas
							Viga Calha Pré-moldada (Sist. Protótipo)
							Ponte Empurrada
							Estaiado em avanços progressivos
Não Informado							
RIO_RUA	Text	30	-	NO	Nome do rio ou rua/ rodovia pela qual a Obra de Arte Especial está construída, por extenso	A ser preenchido	Ex.: Rio Itajaí Mirim
COORDENADA N	Float	7	2	NO	Coordenada Norte do ponto referente a Obra de Arte Especial na Projeção UTM em metros (m)	A ser calculado	Ex.: 700000
COORDENADA E	Float	6	2	NO	Coordenada Leste do ponto referente a Sede do Município na Projeção UTM em metros (m)	A ser calculado	Ex.: 700000
LATITUDE	Float	2	4	NO	Latitude Geográfica do ponto referente a Sede do Município em graus decimais	Automático	Ex.: -26,3525

LONGITUDE	Float	2	4	NO	Longitude Geográfica do ponto referente a Sede do Município em graus decimais	Automático	Ex.: -48,5525
ANO_CONSTRUCAO	Integer	4	-	NO	Ano de construção (inauguração) da Obra de Arte Especial	A ser preenchido	Ex: 1995
CONSTRUTORA	Text	40	-	NO	Nome da empresa contratada para os serviços de construção da Obra de Arte Especial	A ser preenchido	Ex: Construtora Engendorff
COMPRIMENTO	Float	4	2	NO	Comprimento total da pista do tabuleiro da ponta (entre as cabeceiras) em metros	A ser preenchido	Ex: 80,00
LARGURA	Float	2	2	NO	Largura total (entre os guarda-corpos) em metros	A ser preenchido	Ex: 10,00

Quadro 2 - Dicionário de dados da classe “OAE”.

O Quadro 2 detalha a classe “OAE” que representa as construções propriamente ditas e seus atributos compõem características básicas, segundo a Norma PRO 010 (DNIT, 2004). É uma classe que permite a geoespacialização da OAE dentro do recorte municipal por meio de coordenadas. A chave que irá ligá-la à classe de município é o “GEOCODIGO_MUNICIPIO”. Os demais atributos caracterizam de forma básica a estrutura.

A partir do Quadro 3, são representadas as classes relacionadas às tabelas que serão agregadas dentro de cada OAE, especificando informações acerca das inspeções destas obras, garantindo um gerenciamento otimizado, de forma a facilitar o acesso à informação dos agentes públicos nos setores de planejamento e gestão territorial.

Classe	Descrição					
INSPEÇÃO_PERIODICA	Relacionamento entre a classe de Obras de Artes Especiais e as Inspeções Periódicas realizadas em casa obra					
Atributo	Tipo de dado	Tamanho/Precisão	Null Values	Descrição	Domínio	Descrição
CODIGO_OAE	Text	3	NO	Código numérico da Obra de Arte Especial utilizado para relacionamentos no banco (chave primária)	A ser preenchido	Ex.: 4202008PO01
DATA_INPECAO	Date	-	NO	Data em que foi realizada a visita <i>in loco</i> para inspeção da Obra de Arte Especial	A ser preenchido	Ex: 21/04/2020

COND_ ESTABILIDADE	Text	10	NO	Condições de estabilidade	A ser selecionado	Boa
						Sofrível
						Precária
COND_ CONSERVACAO	Text	10	NO	Condições de conservação	A ser selecionado	Boa
						Regular
						Sofrível
NIVEL_VIBRACAO	Text	10	NO	Nível de vibração do tabuleiro	A ser selecionado	Ruim
						Normal
						Intenso
INSP_REALIZADA	Text	20	NO	Necessidade de inspeção realizada por Engenheiro de Estruturas	A ser selecionado	Exagerado
						SIM sem urgência
						SIM com urgência
SIT_LAGES	Text	20	NO	Situação das lajes	A ser selecionado	NÃO
						Buraco existente
						Buraco iminente
						Armadura Exposta muito oxidada
						Armadura Exposta em grande incidência
						Concreto Desagregado muita intensidade
						Concreto Desagregado em grande incidência
						Fissuras com forte infiltração
						Fissuras em grande incidência
						Marcas de Infiltração fortes
						Marcas de Infiltração em grande incidência
						Aspecto do Concreto com má qualidade
Ausência de cobrimento / pouco cobrimento						

SIT_VIGAMENTO	Text	20	NO	Situação dos vigamentos principais	A ser selecionado	Fissuras finas em algumas partes
						Fissuras finas em grande incidência
						Trincas em algumas partes
						Trincas em grande incidência
						Armadura principal exposta
						Armadura principal muito oxidada
						Desagregação do concreto com muita intensidade
						Desagregação do concreto em grande incidência
						Dente Gerber quebrado/ deslocado
						Dente Gerber trincado
						Deformação (flecha) exagerada
						Aspecto do concreto com má qualidade
						Cobrimento pouco/ausente
SIT_MESOESTRUTURA	Text	20	NO	Situação da mesoestrutura	A ser selecionado	Armadura Exposta muito oxidada
						Armadura Exposta em grande incidência
						Concreto Desagregado com muita intensidade
						Concreto Desagregado em grande incidência
						Fissuras com forte infiltração
						Fissuras em grande incidência
						Aparelho de apoio danificado
						Aspecto do Concreto com má qualidade
						Cobrimento ausente/pouco
						Desaprumo
						Deslocamento dos pilares
SIT_INFRAESTRUTURA	Text	20	NO	Situação da infraestrutura	A ser selecionado	Recalque das fundações
						Deslocamento das fundações
						Erosão do terreno de fundação
						Estacas desenterradas

SIT_PISTA_ACESSO	Text	20	NO	Situação das pistas e acessos	A ser selecionado	Irregularidade no pavimento com muita intensidade
						Irregularidade no pavimento em grande incidência
						Juntas de dilatação faltante/ inoperante
						Juntas de dilatação muito problemática
						Acessos com degrau acentuado
						Acesso com concordância problemática
						Acidentes com veículos frequente
						Acidentes com veículos eventuais

Quadro 3 - Dicionário de dados da classe "INSPECAO_PERIODICA".

No Quadro 4 são descritas informações das características estruturais da OAE, trazendo ao BD um rigor técnico qualitativo em relação aos materiais, seções tipo, da superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura.

Classe	Descrição					
CARACTERISTICA_ESTRUTURAI	Relacionamento entre a classe de Obras de Artes Especiais e as características estruturais da obra					
Atributo	Tipo de dado	Tamanho/Precisão	Null Values	Descrição	Domínio	Descrição
CODIGO_OAE	Text	20	NO	Código numérico da Obra de Arte Especial utilizado para relacionamentos no banco (chave primária)	A ser preenchido	Ex.: 4202008PO01
MAT_LAJES	Text	20	NO	Material constituinte das lajes	A ser selecionado	Concreto Armado
						Concreto Protendido
						Aço
						Madeira
						Pedra Argamassada
MAT_VIGAS_PRINCIPAIS	Text	20	NO	Material constituinte das vigas principais	A ser selecionado	Concreto Armado
						Concreto Protendido
						Aço
						Madeira
						Pedra Argamassada

MAT_PILARES	Text	20	NO	Material constituinte dos pilares	A ser selecionado	Concreto Armado
						Concreto Protendido
						Aço
						Madeira
						Pedra Argamassada
MAT_FUNDACOES	Text	20	NO	Material constituinte das fundações	A ser selecionado	Concreto
						Estaca Moldada "in situ"
						Estaca Pré-moldada
						Estaca de Perfil Metálico
						Estaca Tubular Metálica
						Estaca de Madeira
						Ignorada
SECAO_TIPO_VIGAS_PRINCIPAIS	Text	10		Seção tipo das vigas principais	A ser selecionado	2 Vigas "T"
						3 Vigas "T"
						4 ou mais Vigas "T"
						2 Vigas "I"
						3 Vigas "I"
						4 ou mais Vigas "I"
						Viga Caixão
						Laje Maciça
						Vigas Invertidas
						Vigas Calhas
						Tipo Especial
SECAO_TIPO_PILARES	Text	20	NO	Seção tipo dos pilares	A ser selecionado	Único Tipo Parede ou Encontro
						Único Seção Vazada
						Único Vazada com Travessa
						2 Colunas Isoladas
						2 Colunas Contraventadas
						2 Colunas com Travessas
						3 ou mais Colunas Isoladas
						3 ou mais Colunas Contraventadas
						3 ou mais Colunas com Travessas
						Tipo Especial

SECAO_TIPO_FUNDACOES	Text	20	NO	Tipo de fundação	A ser selecionado	Direta
						Bloco de Estacas
						Bloco de Tubulões
						Tubulões Contraventados
						Estaca Escavada
						Ignorada
APARELHO_APOIO	Text	20	NO	Tipo de aparelho de apoio	A ser selecionado	Freyssinet
						Neoprene
						Teflon
						Placa de Chumbo
						Rolo Metálico
						Articulação Metálica
						Pêndulo
						Ligação Pórtico
						Tipo Especial
Não Informado						
N_VAOS	Integer	2	NO	Número total de vãos da Obra de Arte Especial	A ser preenchido	Ex: 02
N_JUNTAS_GERBER	Integer	2	NO	Número total de juntas do tipo Gerber	A ser preenchido	Ex: 04
COMP_MAIOR_VAO	Float	3/2	NO	Comprimento do maior vão, em metros	A ser preenchido	Ex: 25,41

Quadro 4 - Dicionário de dados da classe “CARACTERISTICAS ESTRUTURAIIS”.

O Quadro 5 busca retratar por meio de seus atributos, características relacionadas à funcionalidade da OAE, distinguindo o pavimento, o número de vias, existência de acostamento, guarda-corpo, entre outros.

Classe	Descrição					
CARACTERISTICAS_FUNCIONAIS	Relacionamento entre a classe de Obras de Artes Especiais e as características funcionais da obra					
Atributo	Tipo de dado	Tamanho/Precisão	Null Values	Descrição	Domínio	Descrição
CODIGO_OAE	Text	20	NO	Código numérico da Obra de Arte Especial utilizado para relacionamentos no banco (chave primária)	A ser preenchido	Ex: 4202008PO01
RELEVO	Text	10	NO	da região em que a Obra de Arte Especial está implantada	A ser selecionado	Plana
						Suavemente ondulada
						Ondulada
						Montanhosa
						Escarpada

TRACADO	Text	8	NO	Tipo do traçado da Obra de Arte Especial	A ser selecionado	Tangente
						Curvo
TRAVESSIA	Text	9	NO	Natureza da travessia da ponte	A ser selecionado	Ortogonal
						Esconsa
LARG_TOTAL_PISTA	Float	2/2	NO	Largura total da pista em metros	A ser preenchido	Ex: 14,00
N_FAIXAS	Integer	2	NO	Número total de faixas da Obra de Arte Especial	A ser preenchido	Ex.: 6
ACOSTAMENTO	Boleano	3	NO	Existência de acostamento	A ser selecionado	SIM
						NÃO
LARG_ACOSTAMENTO	Float	1/2	YES	Largura do acostamento	A ser preenchido	Ex: 1,80
PAVIMENTO	Text	8	NO	Tipo de material de pavimentação	A ser selecionado	Asfalto
						Concreto
PASSEIO	Boleano	3	NO	Existência de passeio	A ser selecionado	SIM
						NÃO
GUARDA_RODAS	Text	15	NO	Tipo de guarda-rodas	A ser selecionado	P. antigo
						N. Jersey
						Outro
DRENOS	Boleano	3	NO	Existência de drenos	A ser selecionado	SIM
						NÃO
PINGADEIRA	Boleano	3	NO	Existência de pingadeiras	A ser selecionado	SIM
						NÃO
JUNTA_DILATAÇAO	Integer	2	NO	Número total de juntas de dilatação	A ser preenchido	Ex: 4
VED_JUNTA_DILATAÇAO	Text	15	NO	Tipo de vedação das juntas de dilatação	A ser preenchido	Ex: Metálica

Quadro 5 - Dicionário de dados da classe “CARACTERISTICAS_FUNCIONAIS”.

Por fim, o Quadro 6 traz as especificações do registro fotográfico acerca de cada OAE.

Classe	Descrição					
IMAGEM	Relacionamento entre a classe de Obras de Artes Especiais e os registros fotográficos de cada obra					
Atributo	Tipo de dado	Tamanho/Precisão	Null Values	Descrição	Domínio	Descrição
CODIGO_OAE	Text	20	NO	Código numérico da Obra de Arte Especial utilizado para relacionamentos no banco (chave primária)	A ser preenchido	Ex.: 4202008PO01
DATA_IMAGEM	Date	-	YES	Data em que foi gerada a imagem da Obra de Arte Especial	A ser preenchido	Ex: 21/04/2020
ANEXO-IMAGEM	Text	30	YES	Link de acesso à imagem relacionada ao Código da Obra de Arte e a data da geração	A ser preenchido	Ex.: Vista lateral, vista frontal, vista superior, panorâmica, geral, outros

Quadro 6 - Dicionário de dados relacionado à classe “IMAGEM”.

6 I CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

O presente estudo permitiu alcançar aos objetivos estabelecidos, pois revelou aspectos organizacionais relevantes ao gerenciamento de obras públicas, no contexto das OEA municipais, por meio de uma modelagem de BD.

Por intermédio da estruturação proposta, com enfoque em seu universo conceitual, a produção não se restringiu a nenhum sistema ou *software* de implementação específico e considera-se que os resultados produzidos têm uma contribuição gerencial notória no âmbito da Engenharia Civil.

Conclui-se que este estudo contribui na sintetização dos dados e informações relacionadas ao parque de OEA no contexto municipal, de forma a permitir aos gestores públicos, projetistas e planejadores, rápidas tomadas de decisão acerca das inspeções e quantificações relacionadas a este tipo de obra. Contribui igualmente na criação de um acervo patrimonial, propondo o resgistro de forma organizada, sistematizada e geograficamente referenciada.

As produções aqui desenvolvidas podem ser aplicadas em gestão de OEA tanto por empresas privadas quanto instituições públicas e órgãos de planejamento e gestão territorial no momento de realizar inspeção.

Como recomendações para pesquisas futuras, seria contributivo aplicar este modelo em uma área de estudo, de forma a validá-lo. Não obstante, faz-se necessário a utilização da tecnologia para a alimentação do BD, de forma automatizada.

Por fim, o estudo evidenciou a necessidade da estruturação para a organização e padronização de dados para uma gestão territorial otimizada. De forma a contribuir com a temática, o estudo poderá servir como propulsor e exemplo de modelo para banco de dados para organizar de diversos objetos ou fenômenos geográficos dentro da estrutura organizacional de um município.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. M. M. R. M. O. **Sistema de gestão de pontes com base em custos de ciclo de vida.** Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2013. 380 p.

ARAUJO, C. J. R.V. Principais aspectos abordados na ABNT NBR 9452: 2016 e a importância das condições de acesso às inspeções e das atividades de manutenção em pontes e viadutos. **Revista IPT: Tecnologia e Inovação**, v. 1, n. 5, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9452: **Vistorias de pontes, viadutos e passarelas de concreto.** Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 48 p.

BORGES, K. A.V; DAVIS, C. A.; LAENDER, A. H. F. OMT-G: an object-oriented data model for geographic applications. **Geoinformatica**, v. 5, n. 3, p. 221-260, 2001.

COUGO, P. S. **Modelagem Conceitual de Dados e Projetos de Bancos de Dados.** 1997.

COUTO, R. S. BRITES, R. S. BIAS, E. S. TEIXEIRA, A. A. SOUSA, R. B. Proposição de Modelo Conceitual de Banco de Dados Geoespacial para o Cadastro Ambiental Rural. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 7, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Inspeções em pontes e viadutos de concreto armado e protendido - Procedimento**. Rio de Janeiro: DNIT, 2004. 18 p.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. Fundamentals of Database Systems. Chap. 23-24. Pearson Education, 5ª Ed. 2015.

HURT, M. A.; SCHROCK, S. D. **Highway bridge maintenance planning and scheduling**. Butterworth-Heinemann, 2016.

LONGLEY, P. A. GOODCHILD, M. F. MAGUIRE, D.J. **Geographic information systems and science**. John Wiley & Sons, 2005.

OLIVEIRA, C. B. GRECO, M. ROMEIRO, C. E. LIMA, J. V. S. COUTO, R. A. Eficácia da gestão de pontes rodoviárias à luz das práticas de inspeção brasileiras. **TRANSPORTES**, v. 27, n. 4, p. 172-186, 2019b.

OLIVEIRA, C. B. L.; GRECO, M.; BITTENCOURT, T. N. Analysis of the brazilian federal bridge inventory. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 12, n. 1, p. 1-3, 2019.

OLIVEIRA, Caroline Buratto de Lima e. **Análise da Eficácia de Métodos de Reforço de Pontes Rodoviárias em Concreto Armado**. 2013. 215 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

QUEIROZ, G. R.; FERREIRA, K. R. Tutorial sobre Bancos de Dados Geográficos. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: São José dos Campos**, 2006.

REGINATO, V. S. C.; HUBNER, C. E.; ABATI, S. RECONSTRUÇÃO CADASTRAL DE PROPRIEDADES ATINGIDAS POR LINHAS DE TRANSMISSÃO DA EMPRESA CGT ELETROSUL. **As engenharias e seu papel no desenvolvimento autossustentado 2** [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta, Viviane Teleginski Mazur. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. P.: 296-307.

RYALL, M. J.; RYALL, M. **Bridge management**. Elsevier, 2001.

SMALL, E. P. PHILBIN, T. FRAHER, M. ROMACK, G. P. Current status of bridge management system implementation in the United States. *In: 8th International Bridge Management Conference*. 1999.

TEOREY, T.; LIGHTSTONE, S.; NADEAU, T. Projeto e modelagem de banco de dados. **Campus**, 5o edição. 2014.

CAPÍTULO 20

ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS DO PORTO MARAVILHA, RIO DE JANEIRO: TRANSFORMAÇÕES URBANAS

Data de aceite: 01/02/2021

Data de submissão: 06/11/2020

Amanda Martins Marques da Silva

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Programa de Engenharia Urbana – PEU
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-2777-5394>

Gisele Silva Barbosa

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola
Politécnica - Programa de Engenharia Urbana-PEU
Rio de Janeiro, RJ
Engenharia Civil, Campus Macaé
Macaé, RJ, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-8535-6289>

Patricia Regina Chaves Drach

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Programa de Pós-graduação em Urbanismo
PROURB e Programa de Pós-graduação em
Engenharia Urbana – PEU
Rio de Janeiro / RJ
Universidade do Estado do Rio de Janeiro
ESDI/UERJ
Petrópolis, RJ
<https://orcid.org/0000-0002-1548-4592>

Eduardo Praun Machado

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica
Rio de Janeiro, RJ
<http://lattes.cnpq.br/4666272603471411>

Victor Marques Zamith

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica
Rio de Janeiro, RJ
<http://lattes.cnpq.br/4224920601439534>

Artigo apresentado originalmente no 8º CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL (PLURIS2018) Cidades e Territórios - Desenvolvimento, atratividade e novos desafios – Realizado em Coimbra –Portugal, 24, 25 e 26 de outubro de 2018.

RESUMO: Grande parte do processo de transformação que está ocorrendo nas cidades tem o intuito de adensar o solo urbano. Esta situação pode acarretar diversos problemas socioeconômicos e ambientais. A forma urbana pode contribuir para a melhoria da qualidade de vida de acordo com a localização e as soluções definidas. Nos últimos anos a região portuária do Rio de Janeiro recebeu um grande projeto de revitalização, que previa a alteração morfológica e o adensamento, através da alteração dos parâmetros urbanísticos locais. Este estudo teve como objetivo avaliar a alteração destes parâmetros, realizando um comparativo entre três momentos distintos, sendo o terceiro momento uma proposta de legislação, denominada Proposta para Sistema de Adensamento Sustentável (SAS), para a área com base nos conceitos de sustentabilidade urbana e nos indicativos do LEED-ND. Através de mapas e tabelas, buscou-se demonstrar a relevância da morfologia urbana como meio de transformação e a importância da legislação como vetor de alteração dessa morfologia.

PALAVRAS-CHAVE: Transformações urbanas, LEED, Porto Maravilha, Sustentabilidade, Uso do Solo.

MORPHOLOGICAL CHANGES IN PORTO MARAVILHA, RIO DE JANEIRO: URBAN TRANSFORMATIONS

ABSTRACT: Much of the transformation process that is taking place in cities aims to densify the urban soil. This situation can generate several socioeconomic and environmental problems. The urban form can contribute to the improvement of the quality of life according to the location and the defined solutions. In recent years, the port region of Rio de Janeiro has received a major revitalization project, which foresaw the morphological alteration and the densification, through the alteration of the local urban parameters. This study aimed to evaluate the alteration of these parameters, making a comparison between three distinct moments, the third moment being a proposal for legislation, called the Sustainable Density System Proposal (SAS), for the area based on the concepts of urban sustainability and LEED-ND indicative. Through maps and tables, we seek to demonstrate the relevance of urban morphology as a means of transformation and the importance of legislation as a vector for changing this morphology.

KEYWORDS: Urban transformations, LEED, Porto Maravilha, Sustainability, Land Use.

1 | INTRODUÇÃO

O Rio de Janeiro passou por significativas alterações urbanas devido aos incentivos e responsabilidades trazidas pelas Olimpíadas de 2016. Uma das principais áreas modificadas foi a região do Porto da cidade que recebeu um grande projeto de intervenção baseado em uma parceria-público-privada (PPP) que remodelou toda a área e suas infraestruturas alterando, inclusive, toda a legislação local por ser considerada uma área de interesse. Apesar de prezar por uma densificação urbana, o projeto se mostra distante de uma compactação eficiente e distante de uma proposta que vise o pedestre e a vivacidade urbana.

Esse artigo tem como objetivo analisar a ocupação local mediante as alterações urbanas, considerando as aberturas de vias e as propostas de ocupação baseadas na legislação definida pelo novo projeto para região do Porto Maravilha e apresentar uma proposta de ocupação com uma nova legislação proposta a partir de conceitos urbanos sustentáveis e conceitos do sistema de classificação LEED-Neighborhood. Buscou-se verificar quais as possíveis consequências urbanas após uma provável execução nos próximos anos da construção daquela região baseada na legislação atual e quais seriam os impactos da legislação proposta. Além disso, buscou-se apresentar a necessidade de alterações nas legislações urbanas locais para que sejam delineadas no intuito de aproximar a área à escala do pedestre, mantendo a lógica da densificação urbana de forma equilibrada visando a eficiência e a qualidade de vida, baseada na melhoria da mobilidade, nos usos mistos e no incentivo ao uso da rua.

A metodologia utilizada foi baseada em uma pesquisa exploratória e qualitativa. O estudo foi feito com base em artigos atuais e bibliografia específica. Além disso, foi realizada uma pesquisa de campo com o intuito de realizar um recorte físico para analisar

as formações urbanas escolhidas. Para a realização do estudo foi delimitado o Setor C do projeto do Porto Maravilha para realizar as simulações e análises de projeto.

No intuito de verificar as alterações possíveis após a ocupação urbana pautada pela legislação vigente e as alterações morfológicas e tipológicas propostas a partir de uma nova legislação, foram realizados mapas e cálculos que puderam demonstrar a forma urbana anterior, a esperada com a legislação atual e a forma urbana prevista com a nova legislação proposta. Para isso, foram apresentados três estudos de ocupação para a região. Como resultado, demonstrou-se a eficiência de projetos urbanos e legislações que priorizam o pedestre e o uso das vias melhorando a segurança local, a mobilidade, diminuindo a segregação social e até mesmo contribuindo para a amenização do microclima.

2 | ALTERAÇÃO MORFOLÓGICA COMO VETOR DE SUSTENTABILIDADE

Quanto mais as cidades se desenvolvem, mais complexas se tornam as soluções para estes impactos (Brasil, 2015). Neste contexto a urbanização como um conjunto de medidas tomadas para o desenvolvimento racional e humano da cidade requer que seja exercido um poder que modifique o espaço da cidade. Tais medidas devem fornecer melhorias no que diz respeito a ordenação urbanística da cidade e que traga benefícios à comunidade envolvida, reduzindo a iniquidade e aperfeiçoando a igualdade e a solidariedade social (Novak, 2006).

A noção de sustentabilidade está longe de se tornar um conceito, com várias definições e uma gama de possibilidades que a maioria dos estudos ainda não foi capaz de absorver. No entanto, diversas ações realizadas por atores e objetivos diferentes buscam propor modificações urbanas que promovam uma melhoria ambiental e menores impactos. Desta forma, uma das ações foi a criação de diversas certificações ambientais tanto para projetos de edificações quanto para planejamentos urbanos. Uma das certificações mais utilizadas nas últimas décadas é o LEED. No que tange os projetos e planejamentos urbanos a certificação LEED - Neighborhood tem se apresentado com um eficiente potencial de aplicabilidade.

Muitos projetos de revitalização urbana são baseados primordialmente nas alterações da forma e das funções do espaço urbano. A morfologia influencia diretamente diversos fatores que auxiliam na qualidade urbana como a mobilidade, a segregação espacial, o microclima, a vivacidade urbana, entre outros. A possibilidade de alteração morfológica, visando a revitalização urbana, pautada por conceitos de sustentabilidade e indicadores de certificações ambientais pode contribuir para cidades mais eficientes. As urbes estão em constante alteração e desenvolvimento e, a forma como a estrutura física da cidade se desenvolve influi diretamente na qualidade de vida dos habitantes da mesma.

Muitas dessas alterações formais não são acompanhadas de um planejamento consistente, ou ainda, alguns planejamentos urbanos têm interesses específicos para

determinadas regiões que não visam primordialmente a qualidade de vida dos habitantes locais. Muitas vezes o interesse imobiliário, ou a necessidade de um projeto específico, ou ainda, um interesse político, prevalecem sobre as boas práticas em urbanismo e engenharia urbana.

A busca por projetos urbanos mais eficientes e sustentáveis têm demonstrado que um dos principais fatores que deve ser considerado é a forma urbana. Como forma urbana entende-se não somente a estrutura física das vias e suas dimensões, mas toda a volumetria resultante das edificações, espaços livres, áreas verdes, entre outros. A partir da visão da urbe como Sistema Complexo, defende-se que apenas a inserção de um edifício em determinada área antes desocupada ou o alargamento de uma via, pode-se alterar todo o sistema.

A partir disso, discute-se qual seria a melhor forma urbana, que poderia contribuir para a qualidade de vida local, ser eficiente, promover a mobilidade, o acesso aos serviços essenciais, entre outros. Além disso, são as características locais econômicas, sociais e físicas que irão nortear a melhor forma urbana para determinada região. É importante salientar, que escolhas projetuais irão alterar as formas de ocupação e consequentemente as relações sociais e econômicas que ocorrerão no local alterado.

3 I ESTUDO DE CASO: PORTO MARAVILHA

A Zona Portuária está localizada na área central da cidade do Rio de Janeiro e foi implantada a partir de um aterro que modificou a linha da costa local. Com a evolução das técnicas das operações portuárias o trecho do porto entre a Praça Mauá e a Avenida Francisco Bicalho foi se tornando obsoleto, assim, uma grande área que outrora servia como área de apoio às operações portuárias, de caráter essencialmente industrial, tornou-se ociosa, formando vazios urbanos e deixando edificações subutilizadas ou abandonadas.

Com o intuito de recuperar esta área, foi concebido um plano de recuperação e requalificação deste espaço, denominado Projeto Porto Maravilha, possibilitado através da promulgação da Lei Municipal nº101/2009, que criou a Operação Urbana Consorciada (OUC) da Área de Especial Interesse Urbanístico (AEIU) da Região Portuária do Rio de Janeiro. A operação urbana consorciada é um recurso previsto no Estatuto das Cidades (Lei Federal nº 10257/2001) para recuperação de áreas degradadas. Para este plano foi considerada uma área de intervenção de aproximadamente 5 milhões de metros quadrados, conforme delineado na figura 1, próxima a grandes eixos de circulação e à área central da cidade, com frente para a Baía da Guanabara. É a porta de entrada para os turistas que chegam à cidade em cruzeiros e tem em seu interior diversos pontos de interesse.

A OUC do Porto do Rio de Janeiro visa transformar a região portuária numa área dinâmica que seja uma nova referência de planejamento urbano para a cidade. A fim de evidenciar suas peculiaridades e potencial de desenvolvimento, a área da AEIU foi dividida

em setores e subsetores. Estes setores são apresentados de acordo com suas características predominantes, marcos urbanos, geografia e vocação. É importante evidenciar que na região do porto há um relativo isolamento em relação à cidade, evidenciando a necessidade das melhorias de mobilidade na região, para que ela se torne mais integrada. O recorte escolhido para a análise foi o Setor C do Porto Maravilha, também demonstrado na figura 1, por representar uma área com características típicas do local e conter um alto índice de disponibilidade dos CEPAC's (certificados de potencial adicional de construção). Os projetos foram analisados considerando as alterações viárias, a volumetria ocupada, os usos previstos e as formas de ocupação do solo.

O uso e ocupação do solo anterior ao projeto de revitalização da área era determinado pela atividade industrial e com a permissividade de uso residencial em áreas específicas. A incompatibilidade entre estes usos aliado à falta de investimentos em infraestrutura corroboraram na degradação dessa região portuária. O uso comercial acontecia em sua maioria com os comércios e serviços de bairros. Já o uso institucional ocorria através de poucos hospitais, escolas e órgãos militares, além das empresas atuantes na região e da presença da Supervia (Companhia de Trens Urbanos). O uso residencial na região se deu na parte central da região, através de uma diversidade social coexistindo simultaneamente favelas e bairros consolidados.

A proposta aprovada pelo Projeto Porto Maravilha foi de alterar drasticamente a legislação de uso e ocupação do espaço urbano, fazendo uma completa revitalização e ampliação da infraestrutura, mantendo as áreas de habitação e incentivando a vinda de novos moradores, prevendo um adensamento. Criando um polo de entretenimento, comércio e serviços, onde a população pudesse, de fato, trazer de volta a vivência urbana à região.

Para promover o adensamento, é proposta a verticalização drástica da região por meio dos CEPACS que se revelam como meios de pagamento de outorga onerosa do direito adicional de construção para os imóveis contidos no perímetro da OUC, a serem leiloados. Sobretudo nas faixas à frente do Morro da Providência, onde o gabarito foi alterado de 23m ou 63m para 90m, 120m e 150m, com permissão de elevar até 50 andares, como demonstrado na figura 2. Estes títulos são utilizados para financiar as OUC's que recuperam áreas degradadas nas cidades, são instrumentos da política urbana previstos no Estatuto das Cidades – Lei 10.257/01. A OUC tem como público-alvo, o público em geral, mas especialmente investidores institucionais, do mercado imobiliário, construtoras e incorporadoras.



Figura 1: Delimitação da AEIU da OUC do Porto e delimitação do Setor C (em vermelho)

Fonte: (Porto Maravilha, 2017)



Figura 2: Setores com potencial adicional construtivo.

Fonte: (Porto Maravilha, 2017)

Pretende-se com isso, solucionar o problema da degradação da área, resultante da falta de adensamento populacional na região. No entanto, aumentar a população e usuários do espaço urbano também resulta em trazer todos os contratempos que esse adensamento acarretará. Além disso, questiona-se a forma como esse adensamento será executado e até que ponto essas grandes torres trarão qualidade urbana para a região.

4 I PROPOSIÇÃO DE ALTERAÇÕES DE LEGISLAÇÃO E USO DO SOLO

4.1 Procedimentos metodológicos

A partir dos parâmetros definidos pelas legislações pertinentes e pela legislação proposta pelos autores do artigo, foram estudadas três situações. A primeira, referente à legislação imposta pelo Decreto 322/76, anterior ao projeto Porto Maravilha. Para esta simulação, os dados foram obtidos por meio de pesquisas documentais das legislações vigentes, em levantamentos fotográficos, em levantamentos “in loco” da área construída e através das plantas cadastrais do Município do Rio de Janeiro fornecidas pelo Instituto Pereira Passos (IPP).

A segunda situação foi analisada a partir de mapas e parâmetros definidos pela Lei Municipal Complementar nº 101/2009, que criou a OUC da Região Portuária do Rio de Janeiro, que objetiva revitalizar a área portuária e está em vigência.

A terceira situação analisada foi a proposição e a simulação da área de estudo a partir de uma nova legislação baseada no LEED-ND e em conceitos de sustentabilidade urbana, foi denominada como Sistema de Adensamento Sustentável (SAS). A partir dos resultados morfológicos urbanos simulados foram analisadas as consequências e possibilidades de melhoria da qualidade de vida na região.

4.2 Resultados obtidos

Os primeiros resultados basearam-se nas comparações entre a ocupação da área anterior a LC 101/2009 e posterior a LC 101/2009. Houve a abertura de vias, divisão de

quadras e a inclusão de áreas permeáveis.

É importante salientar que para a base de estudos, toda a análise de legislação foi simplificada de forma que seja possível traçar um panorama geral dos parâmetros urbanísticos dispostos nas legislações pertinentes, sem que seja necessário se ater a detalhes específicos de cada legislação.

A primeira simulação apresenta a ocupação do solo, de acordo com os parâmetros urbanísticos definidos pelo Decreto 322/1976. Este decreto foi o primeiro a instituir o zoneamento legal para a cidade do Rio de Janeiro. Sua delimitação de zonas ainda prevalece na maior parte da cidade. O decreto, não utiliza o termo IAT (Índice de Aproveitamento do Terreno), mas o coeficiente “N”, disposto no quadro V do decreto, variável para zonas, áreas centrais e centros de bairro. Para cálculo do ATE (área total edificada) das áreas este coeficiente N deve ser multiplicado por 0,7 (Prefeitura do Rio de Janeiro, 1976).

O zoneamento predominante, segundo o Decreto 322/76 para a área estudada era o ZP – Zona Portuária, que correspondia ao uso de depósitos e armazéns. Neste perímetro poucas atividades comerciais foram identificadas. Já na parte destinada à ZR-5 originalmente designadas para fins habitacionais, há poucos edifícios voltados a estes fins, predominando as atividades comerciais (Porto Maravilha, 2008).

Os parâmetros urbanísticos estabelecidos pelo Decreto 322/76 encontram-se na Tabela 1. Importante salientar que a zona ZR-5, a partir de 1987 passou a ser regida pelos parâmetros instituídos pela APA SAGAS (área de proteção ambiental), consolidada pelo decreto 7351/88 e pela Lei 971/87.

DECRETO 322/76 E 7351/88					
ZONA	LEGISLAÇÃO PERTINENTE	GABARITO m	TAXA DE OCUPAÇÃO (%)	ÍNDICE DE APROV. DO TERRENO (IAT)	AFASTAM. FRONTAL (m)
ZP	Dec. 322/76	23	70%	5	Variável
ZR-5	Dec. 7351/88	11	70%	2,1	isento

Tabela 1: Zoneamento anterior a LC101 – Regido pelo Decreto 322/76.

Com a promulgação da Lei Complementar 101/2009 (LC 101/09) que instituiu a Operação Urbana Consorciada (OUC) da Região do Porto do Rio os parâmetros urbanísticos da região foram alterados, sendo estabelecido um novo zoneamento para a região. No setor C ficou estabelecido que a ZP passaria a ser denominada Zona de Uso Misto (ZUM), alterando o uso e ocupação do solo estabelecidos pelo Decreto 322/76, a ZR-5 permanece como tal, mas tem parte de seus parâmetros alterados. A partir da alteração do uso e ocupação do solo e da subdivisão do setor C foram estabelecidos novos parâmetros, alterando o tamanho do lote, gabarito, taxa de ocupação, índice de aproveitamento do terreno, etc. Estes parâmetros encontram-se na tabela 2.

LEI COMPLEMENTAR 101/09

ZONA / SUBSETOR	ÁREA MÍNIMA DO LOTE (m²)	GABAR. m / pav	TO (%)	COEF. DE APROV. BÁSICO (CAB)	COEF. DE APROV. MÁXIMO (CAM)	AFASTAM. FRONTAL (m)
ZUM / C1	2.000	11 - 3	70	2,10	2,10	7
ZUM / C2	2.000	120 - 40	50	1,00	8,00	7
ZUM / C3	2.000	150 - 50	50	1,00	12,00	7
ZR-5 / C4	2.000	60 - 20	50	1,00	4,20	7
ZR-5 / C5	1.000	11 - 3	70	1,00	2,10	isento

Tabela 2: Zoneamento instituído pela LC 101/09.

O Índice de Aproveitamento do Terreno (IAT) determina a quantidade de metros quadrados que se pode construir em um terreno, representados através da área total construída e do gabarito de cada edificação. A possibilidade de aumento do coeficiente de aproveitamento foi determinada através dos CEPAC's (variam de acordo com o zoneamento), possibilitando acréscimo ao IAT mediante a compra destes títulos.

A segunda simulação foi realizada a partir da configuração morfológica resultante baseada na Lei Municipal Complementar nº 101/2009 e nos parâmetros urbanísticos definidos pela tabela 2. Na figura 3 estão representadas as duas simulações, a primeira baseada no Decreto 322/76 (3a) e a segunda baseada na LC 101/09 (3b).



Figura 3: Ocupação do Setor C simulada com base nos parâmetros urbanísticos do Decreto 322\1979 (3a) e na LC 101\2009 (3b).

Fonte: Elaboração própria (2017)

Segundo o projeto Porto Maravilha (Porto Maravilha, 2017) os Padrões de Sustentabilidade para novas Edificações na área do projeto devem atender os seguintes requisitos: respeitar parâmetros específicos de afastamento e recuo, ventilação e iluminação natural, prever dispositivos para economia de consumo e reaproveitamento de água, economia e/ou geração local de energias limpas / telhados verdes, uso de materiais com certificação ambiental e facilitação de acesso e uso de bicicletas.

Como proposição de melhoria, este artigo apresenta o Sistema de Adensamento Sustentável (SAS), que é uma proposta de modificação da LC 101/09, de acordo com os parâmetros estabelecidos para o projeto e a análise dos parâmetros definidos pela certificação LEED ND. Nesta proposta além do aumento do coeficiente de aproveitamento através da aquisição das CEPACS, que deverão subsidiar as obras e serviços da região, haverá contrapartidas para que este coeficiente chegue ao máximo através da realização de ações de sustentabilidade a serem desenvolvidas pelos empreendimentos.

A metodologia proposta está dividida em 4 grupos, são eles: Pedestres, Lote, Edificação e Construção. Cada grupo possui a possibilidade de acúmulo de 1,2 pontos, no entanto contabiliza no máximo 1 ponto (Tabela 3) com exceção do grupo de Edificações.

PEDESTRES – GRUPO 1	PONTUAÇÃO MÁXIMA DO GRUPO	1,00
FACILIDADES PARA PEDESTRES		
Acessos diretos ao empreendimento para cada fachada.	Uma entrada funcional a cada 30m	0,20
	Uma entrada funcional a cada 22,5m	0,30
Excluindo-se entradas de veículos.	Uma entrada funcional a cada 15m	0,40
Fachadas voltadas para um espaço público com os seguintes afastamentos.	Afastamento frontal menor ou igual a 7,5m.	0,10
	Afastamento frontal menor ou igual a 5m.	0,20
Isenção de atender os afastamentos frontais previstos na legislação.	Afastamento frontal menor ou igual a 2,5m.	0,30
	Afastamento frontal menor ou igual a 0,5m.	0,40
Manter fachadas em material translúcido ou aberta e sem grades entre as alturas de 0,90m a 2,50m de acordo com o seguinte percentual.	30% da área da fachada do piso térreo.	0,20
	60% da área da fachada do piso térreo.	0,30
	90% da área da fachada do piso térreo.	0,40

LOTE – GRUPO 2	PONTUAÇÃO MÁXIMA DO GRUPO	1,00
FACILIDADES PARA BICICLETAS		
<p>Prover espaços para guarda de bicicletas e fornecer área de chuveiro, vestiário e armário.</p> <p>Caso a edificação possua várias entradas os bicicletários podem ser proporcionalmente divididos entre elas.</p> <p>No caso de edificações de uso misto, atender proporcionalmente aos requisitos de cada uso descrito.</p>		
Edificações residenciais	02 espaços de estacionamento para cada unidade residencial.	0,40
Edificações de varejo	01 espaço de estacionamento para cada unidade de varejo + 01 espaço de estacionamento para no mínimo 30% da ocupação flutuante planejada.	0,20
	1 chuveiro a cada 10 espaços de bicicleta – Seguir determinações da NR-24	0,20
Edificações comerciais	01 espaço de estacionamento para no mínimo 10% da ocupação fixa planejada + 01 espaço de estacionamento por cada andar para visitantes.	0,20
	1 chuveiro a cada 10 espaços de bicicleta – Seguir determinações da NR-24	0,20

CONEXÃO COM A COMUNIDADE		
<p>Projetar a edificação de forma que seja permitida a utilização pública de parte do lote no pavimento térreo.</p> <p>Permitida a supressão dos afastamentos no embasamento da edificação desde que seja projetada uma área de passagem, um parque, praça ou uma horta urbana comunitária, aberta e sem grades, para uso da população local com superfície permeável. Não estão incluídas vias para veículos e áreas de estacionamento.</p>		
Supressão dos afastamentos frontais - Máximo de 02 laterais.	Destinar 10% do lote ao uso da comunidade.	0,20
Supressão dos afastamentos frontais e um lateral - Máximo de 03 laterais.	Destinar 20% do lote ao uso da comunidade.	0,40
SOMBREAMENTO DE PASSEIOS		
<p>Fornecer sombreamento dos passeios contíguos ao lote.</p> <p>A arborização deve ser plantada na área de afastamento do lote.</p> <p>Cálculo realizado em função da estimativa de crescimento da copa das espécies arbóreas. Espécies nativas ou adaptadas.</p>		
Percentual mínimo de sombreamento dos passeios	40% dos passeios sombreados.	0,20
	60% dos passeios sombreados.	0,40

EDIFICAÇÃO - GRUPO 3	PONTUAÇÃO MÁXIMA DO GRUPO	1,00
CONTROLE DE INUNDAÇÃO		
Construir sistema de captação e reaproveitamento de água da chuva	Reten 75% da média pluviométrica dos últimos 10 anos.	0,15
	Reten 90% da média pluviométrica dos últimos 10 anos.	0,30
Construir e manter um percentual do piso térreo com pavimentação permeável.	20% da área do terreno.	0,10
	30% da área do terreno.	0,20
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA		
Instalação de painéis solares para redução da energia elétrica utilizada nas áreas comuns da edificação.	Redução de 3% da energia elétrica das áreas comuns	0,10
	Redução de 7% da energia elétrica das áreas comuns	0,20

MICROCLIMA		
Redução das ilhas de calor – telhado. Utilizar materiais de alta refletância no telhado.	Telhado pouco inclinado (menor ou igual a 2:12) - SRI 82	0,10
	Telhado muito inclinado (maior que 2:12) - SRI 39	0,10
Redução das ilhas de calor – pavimentação. Utilizar materiais de alta refletância na pavimentação.	Utilizar materiais de pavimentação com SRI de pelo menos 33	0,10
	75% da área livre de cobertura do embasamento.	0,15
Projetar, construir e manter um terraço jardim no topo do embasamento da edificação. Não é permitida utilização de grama artificial.	90% da área livre de cobertura do embasamento.	0,3
CONSTRUÇÕES CERTIFICADAS		
Projetar e construir a edificação de acordo com pelo menos 1 das certificações ambientais listadas: Selo Procel de Economia de Energia para Edificações, selo casa azul, LEED, Aqua.	Apresentar o projeto, memorial de cálculo de todos os itens e estratégias a serem seguidas para o alcance da certificação e a inscrição do empreendimento na certificação selecionada.	1,00

CONSTRUÇÃO – GRUPO 4	PONTUAÇÃO MÁXIMA DO GRUPO	1,00
PREVENÇÃO DA POLUIÇÃO DURANTE A CONSTRUÇÃO		
Estabelecer e cumprir um plano com estratégias para prevenção da poluição no entorno da obra.	Apresentar plano de prevenção a poluição e relatório mensal de acompanhamento.	0,60
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS		
Estabelecer um plano com estratégias de coleta, armazenamento e disposição de resíduos (PGRCC). Prever estratégias para armazenamento temporário de resíduos que possam ser reutilizados na obra.	Desviar 50% dos resíduos dos aterros sanitários.	0,20
	Desviar 75% dos resíduos dos aterros sanitários.	0,40
	Desviar 95% dos resíduos dos aterros sanitários.	0,60

Tabela 3: Requisitos da metodologia proposta para a alteração da legislação. fonte: Autoras (2018).

Para aplicação da metodologia proposta, foram alterados todos os parâmetros dispostos na LC 101/09 com o intuito de adensar mais a área e verticalizar menos, tornando o espaço mais agradável ao uso do pedestre, sendo que o Coeficiente de Aproveitamento Máximo da LC101 passou a chamar-se de Coeficiente de Aproveitamento de CEPAC (CAC) e um novo Coeficiente de Aproveitamento Máximo (CAM) foi instituído, que pode ser alcançado a partir do acúmulo dos pontos previstos na metodologia proposta (Tabela 4).

METODOLOGIA SAS

ZONA / SUBSETOR	ÁREA MÍNIMA DO LOTE (m ²)	GABARITO m / pav	TO (%)	COEF. DE APROV. BÁSICO (CAB)	COEF. DE APROV. CEPAC (CAC)	COEF. DE APROV. MÁXIMO (CAM)	AFASTAM (m)	EMBASAM. h MÁXIMA (m)
ZUM / C1	2.000	11 - 3	70	2,10	2,10	2,10	7,00	-
ZUM / C2	850	48 - 16	70	1,00	4,00	8,00	5,00	12,00
ZUM / C3	1.000	60 - 20	70	1,00	8,00	12,00	5,00	12,00
ZR-5 / C4	800	36 - 12	70	1,00	3,00	7,00	5,00	9,00
ZR-5 / C5	500	12 - 4	70	1,00	1,50	2,10	isento	6,00

Tabela 4: Parâmetros urbanísticos propostos.

Apresenta-se na figura 4 o resultado morfológico obtido a partir da proposta SAS. Essa proposta, além da alteração dos parâmetros urbanísticos propostos para os novos empreendimentos, prevê ainda uma série de alterações morfológicas no traçado das vias, quadras e lotes. Tais alterações serão descritas a seguir e destacadas também na figura 4.

a. Ampliação da quadra onde se encontra o INCA (Instituto do Câncer) e a alteração de seu subsetor de C2 para C3, permitindo assim o alcance de um coeficiente máximo de aproveitamento (CAM) maior, uma vez que estes lotes se encontram entre à Rodoviária Novo Rio e a descida do viaduto da Via Binário do Porto.

b. Transformação de uma via de pedestres em via de automóveis com implantação de ciclovia e a ampliação de quatro quadras ao longo desta via.

c. Abertura de uma via de automóveis e uma via exclusiva à pedestres, de forma a diminuir o tamanho da quadra e promover a caminhabilidade.

d. Manutenção dos imóveis tombados presentes na área e de um hotel, já construído de acordo com os parâmetros definidos pela LC 101/09.



Figura 4: Alterações morfológicas e viárias propostas para a área.

Fonte: Elaboração própria (2018)

Para os cruzamentos, serão adotadas estratégias sugeridas pela Associação Nacional de Funcionários de Transporte de Cidades de forma a oferecer deslocamentos mais eficientes e seguros a todos os usuários. Todos os cruzamentos foram mapeados e divididos em quatro tipos: cruzamentos entre avenidas, cruzamentos de avenidas com ruas menores, elevações em ruas menores e cruzamentos complexos (Gaete, 2016). E as vias secundárias transversais serão transformadas em zona 30 km, de forma a privilegiar o deslocamento ativo, através de bicicletas.

Além das subdivisões dos lotes em terrenos com no máximo 1000m² (com a LC 101/2009 os terrenos eram de aproximadamente 2500m² o que inviabilizava a compra dos lotes por pequenas construtoras e pequenos empreendedores) outra proposição relevante foi a alteração do uso do solo. Anteriormente a área era ocupada basicamente por galpões e poucas áreas residenciais. Com a LC 101/2009 a área passou a possuir um uso de praticamente 80% comercial o que também poderia contribuir para a ocupação durante o dia, mas trazer insegurança para o período noturno. Na nova configuração proposta, a prioridade foi dada ao uso misto o que proporciona um uso mais homogêneo nos diferentes turnos e diminuir a sensação de insegurança. O uso misto também corrobora com a diminuição dos deslocamentos e é um facilitador da caminhada e do uso de bicicleta.

Na figura 5 é possível ilustrar as volumetrias das três situações analisadas: morfologia permitida com o Decreto 322-1976 (5a), com a LC 101-2009 (5b) e com a proposta de legislação SAS, baseada nos conceitos do LEED-ND (5c).

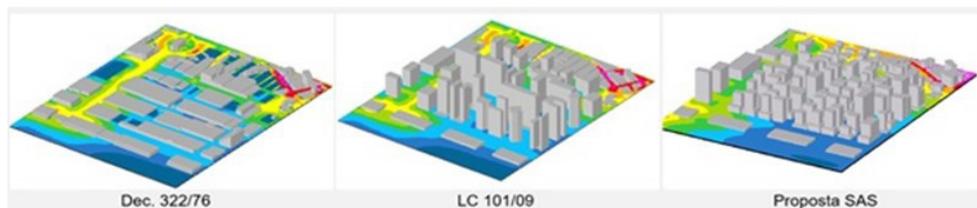


Figura 5: Ilustração 3D das alterações morfológicas (software ENVI-met).

Fonte: Elaboração própria (2018).

4.3 Análise de resultados

As modificações propostas visam elevar a qualidade ambiental da área estudada, promovendo o uso de transportes públicos e alternativos e encorajando o usuário a realizar pequenos e médios trajetos a pé. As alterações propostas para uma nova legislação, priorizaram uma cidade com uso misto, com uma compactidade eficiente, sem consequências ruins para o microclima local, a maior quantidade de terrenos e a variabilidade de suas dimensões, o que pode contribuir para a diversidade de usos e populacional da região, o

incentivo a caminhada e ao uso de bicicletas, uma morfologia não compacta permitindo a permeabilidade dos ventos e diminuindo a monotonia visual, uma arborização contínua e valorizada que também contribui para a caminhabilidade em um local de clima quente.

Com a proposição sugerida espera-se que com os novos incentivos de ocupação do solo e alterações na legislação, alguns critérios do LEED-ND poderiam ser realizados por parte dos construtores criando um ambiente diversificado, vivo, com uma compacidade equilibrada, misto e eficiente. A partir da Tabela 5, é possível comparar tais possibilidades de ocupação máxima das três situações analisadas.

DECRETO 322 / 76			LC 101 / 09			PROPOSTA SAS		
ZONA	ÁREA	ATE	ZONA	ÁREA	ATE	ZONA	ÁREA	ATE
ZP	181.106,47	834.006,90	ZUM	150.303,83	1.202.825,95	ZUM	150.573,77	1.243.880,97
ZR-5	39.197,98	82.315,76	ZR-5	38.992,24	115.253,54	ZR-5	33.384,98	144.663,58
SOMA	220.304,45	916.322,65	SOMA	189.296,07	1.318.079,49	SOMA	183.958,75	1.388.544,55

Medidas expressas em metros quadrados (m²).

Tabela 5: Tabela comparativa de ocupação do solo das três situações de estudo.

É notório que o solo foi mais ocupado, no entanto menos verticalizado e os espaços livres da região são melhor ocupados por áreas públicas e não por terrenos cercados. Conforme a hipótese assumida pode-se afirmar que as alterações morfológicas desenvolvidas nos projetos urbanos influenciam diretamente a vivacidade urbana, a sensação de (in)segurança e a qualidade de vida local.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Destaca-se que a legislação tem grande potencial de intervenção na morfologia urbana e conseqüentemente é um dos principais fatores que corroboram ou não para a qualidade de vida local. Defende-se que a verticalização excessiva não é a forma mais adequada de se adensar uma região e esse padrão urbanístico pode trazer insegurança, pouca caminhabilidade, custos altos de infraestrutura, gastos maiores de energia, entre outros.

Para projetar áreas urbanas adensadas de forma eficiente é importante pensar em todas as conseqüências da legislação proposta e quais soluções e problemas o resultado formal da aplicação da mesma trará em longo prazo para a região e seu entorno. A partir da proposta SAS, realizada por esse artigo, foi possível perceber que alterações na legislação urbana podem contribuir para formas urbanas mais adequadas ao pedestre sem comprometer a ocupação desejada e contribuindo para a eficiência local.

REFERÊNCIAS

Brasil (2015) *Sustentabilidade urbana: impactos do desenvolvimento econômico e suas conseqüências sobre o processo de urbanização em países emergentes: textos para as discussões da Rio+20.*, Brasília: MMA.

Gaete, C.M. (2016) *5 propostas de cruzamentos mais seguros para diferentes modais de transporte*, 02 abril, [Online] <https://www.archdaily.com.br/br/784622/5-propostas-de-intersecoes-mais-seguras-para-diversos-modos-de-mobilidade> [12 abril 2018].

Novak, H. (2006) 'Os outros nomes do urbanismo: planejamento, projeto e desenhos urbanos.', *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, Dezembro, pp. 127-146.

Porto Maravilha (2008) *Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) da região do porto do Rio de Janeiro.*, [Online], http://portomaravilha.com.br/estudos_vizinhanca .

Prefeitura do Rio de Janeiro (1976) *Decreto 322 - Aprova o Regulamento de Zoneamento do Município do Rio de Janeiro.* , 03 março, [Online], <http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/5126700/4132731/DECRETON332.PDF> [28 outubro 2017].

Prefeitura do Rio de Janeiro (2009) *Lei Complementar 101 - Modifica o Plano Diretor, autoriza o Poder Executivo a instituir a Operação Urbana Consorciada da Região do Porto do Rio e dá outras providências.* <http://mail.camara.rj.gov.br/APL/Legislativos/contlei.nsf/f25edae7e64db53b032564fe005262ef/b39b005f9f9d8032577220075c7d5?OpenDocument> [2017].

Prefeitura do Rio de Janeiro (2018) *Legislação Bairro a Bairro*, [Online], <http://mapas.rio.rj.gov.br/#> [30 março 2018].

SOBRE OS ORGANIZADORES

FRANCIELE BRAGA MACHADO TULLIO - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

LUCIO MAURO BRAGA MACHADO - Bacharel em Informática (Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG/1995), licenciado em Matemática para a Educação Básica (Faculdade Educacional da Lapa – FAEL/2017), Especialista em Desenvolvimento de Aplicações utilizando Tecnologias de Orientação a Objetos (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/ 2008). É coordenador do Curso Técnico em Informática no Colégio Sant’Ana de Ponta Grossa/PR onde atua também como professor desde 1992, também é professor na Faculdade Sant’Ana atuando nas áreas de Metodologia Científica, Metodologia da Pesquisa e Fundamentos da Pesquisa Científica e atua como coordenador dos Sistemas de Informação e do Núcleo de Trabalho de Conclusão de Curso da instituição. E-mail para contato: machado.lucio@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

ABS 7, 12, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53

Agitação 1, 2, 4, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 20, 69, 203, 204, 207

Ângulo de inclinação 105, 106, 107, 111, 114

Anidrido maleico 33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

Aspersão térmica 54, 58, 59, 61, 62, 64, 65, 66

B

Banda larga 87, 94, 95

Blenda PS/PCL 68

C

Cicatrização 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

Concreto 96, 97, 98, 100, 103, 104, 136, 226, 229, 230, 232, 233, 234, 235, 237, 238, 239

Construção civil 96, 97, 103

D

Desgaste abrasivo 54, 58, 59, 60, 63, 65, 66

E

Ensino 1, 6, 8, 10, 21, 255

F

Feridas 75, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Ferrocarbonila 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Filme fino 68

Fotodegradação UV 68

I

Impressão 3D 1, 15

Índice de acidez 17, 18, 19, 20, 21

Índice de peróxido 17, 19, 20, 21

M

Materiais absorvedores de radiação eletromagnética 87, 88, 95

Matlab 105, 106, 107

Mecanismo de reação 33, 35, 39

Medicina regenerativa 75, 76, 77, 78, 79, 80, 83, 84

Mistura 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 15, 34, 37, 39, 41, 43, 44, 45, 46, 51, 69, 97, 99, 203, 204

Modificação química 33, 38, 39, 40, 41, 46

N

Nanobiomateriais 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84

O

Óleo de soja 17, 19, 21

Operação unitária 2, 23

P

Painéis solares fixos 105

Polipropileno 96, 97, 99, 104

R

Reciclagem 96, 97, 186, 189, 192, 194

Refletividade 87, 90, 91, 92, 93, 94, 95

Reutilização 17, 18, 19, 96, 186, 189, 191, 194

Revestimentos cerâmicos 54, 55, 56, 60, 67

S

Sedimentação 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32

Separação de partículas 22, 23

Sistemas fotovoltaicos 105, 106

Suspensão 4, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 30, 32, 203, 204

T

Teste de proveta 22, 23, 24

As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021

As Engenharias agregando Conhecimento em Setores Emergentes de Pesquisa e Desenvolvimento

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Atena
Editora

Ano 2021