



JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
RENNAN OTAVIO KANASHIRO
(ORGANIZADORES)

AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3

 **Atena**
Editora
Ano 2020



JOÃO DALLAMUTA
HENRIQUE AJUZ HOLZMANN
RENNAN OTAVIO KANASHIRO
(ORGANIZADORES)

AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3

Atena
Editora
Ano 2020

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 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 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

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
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª 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
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto 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
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª 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 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^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 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
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

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª 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
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª 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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
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. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª 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. 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
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
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
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª 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. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
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
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Profª 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
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª 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

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecário Maurício Amormino Júnior
Diagramação: Luiza Alves Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

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

A526 Ampliação e aprofundamento de conhecimentos nas áreas das engenharias 3 [recurso eletrônico] / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-389-7

DOI 10.22533/at.ed.897201709

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas. I. Dallamuta, João. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Kanashiro, Rennan Otavio.

CDD 620

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Caro(a) leitor(a)

Como definir a engenharia? Por uma ótica puramente etimológica, ela é derivada do latim *ingenium*, cujo significado é “inteligência” e *ingeniare*, que significa “inventar, conceber”.

A inteligência de conceber define o engenheiro. Fácil perceber que aqueles cujo ofício está associado a inteligência de conceber, dependem umbilicalmente da tecnologia e a multidisciplinaridade.

Nela reunimos várias contribuições de trabalhos em áreas variadas da engenharia e tecnologia. Ligados sobretudo a indústria petroquímica com potencial de impacto nas engenharias. Aos autores dos diversos trabalhos que compõe esta obra, expressamos o nosso agradecimento pela submissão de suas pesquisas junto a Atena Editora. Aos leitores, desejamos que esta obra possa colaborar no constante aprendizado que a profissão nos impõe.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

PROPOSAL OF A CONCEPT FOR MODELING SMALL WIND TURBINES

Heitor Andrade Porto
Arthur José Vieira Porto
Carlos Alberto Fortulan

DOI 10.22533/at.ed.8972017091

CAPÍTULO 2..... 14

PROPOSTA DE ALGORITMO PARA REGRAS DE CIRCULAÇÃO DE TRENS EM FERROVIA SINGELA COM PONTOS DE CRUZAMENTO EM MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADA EM EVENTOS DISCRETOS OU AGENTES

Rafael Buback Teixeira
Luiz Henrique Lima Faria
Afonso Celso Medina
Augusto Cesar Pereira
Frederico Augusto Coelho Vieira da Costa
Luiz Antonio Silveira Lopes
Ivan Ronei Herzog Mação Campos
Lucas Corteletti Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.8972017092

CAPÍTULO 3..... 31

OTIMIZAÇÃO NÃO LINEAR E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: FERRAMENTAS NA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

Simone Aparecida Rocha
Thiago Gomes de Mattos
Rodrigo Tomás Nogueira Cardoso
Eduardo Gonzaga da Silveira

DOI 10.22533/at.ed.8972017093

CAPÍTULO 4..... 47

ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE APROVEITAMENTO COM GERAÇÃO HÍBRIDA HIDRÁULICO-FOTOVOLTAICO

Marianna Aranda Lima

DOI 10.22533/at.ed.8972017094

CAPÍTULO 5..... 59

DIAMOND INTEGRATED COATING BY ELECTROPLATING PROCESS - AN OVERVIEW

Regina Bertília Dantas de Medeiros
Janary Martins Figueiredo Filho
Meysam Mashhadikarimi
Uilame Umbelino Gomes

DOI 10.22533/at.ed.8972017095

CAPÍTULO 6..... 70

TECNOLOGIA ASSISTIVA: PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO PARA ESTÍMULO SENSORIAL

INTENSIVO

Mauro Fonseca Rodrigues
Diane Johann
Leonardo Rafael Willers
Gracieli Cristina Scherer
Kelly Gabriela Poersch

DOI 10.22533/at.ed.8972017096

CAPÍTULO 7..... 83

OBTENÇÃO DE NANOFERRITA DE MANGANÊS PELO MÉTODO DE COMBUSTÃO EM SOLUÇÃO (SCS) PARA APLICAÇÃO EM BIONANOCOMPOSITO

Ana Clara Ferreira de Sousa
Débora Albuquerque Vieira
Mireli Tomazi Fidelis
Anderson Souza Silva
Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa

DOI 10.22533/at.ed.8972017097

CAPÍTULO 8..... 94

TRATAMENTO DE METAIS PESADOS PRESENTES EM RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS POR ESTABILIZAÇÃO E SOLIDIFICAÇÃO EM MATRIZ DE CIMENTO

Eder Saulo de Freitas Galindo
André Luiz Fiquene de Brito

DOI 10.22533/at.ed.8972017098

CAPÍTULO 9..... 109

ESTUDO DA COMPACTAÇÃO E SINTERIZAÇÃO DE PÓS CERÂMICOS DE ZnO (ÓXIDO DE ZINCO) OBTIDOS POR REAÇÃO DE COMBUSTÃO COM POTENCIAL PIEZOELÉTRICO

Verônica Barbosa da Silva
Débora Albuquerque Vieira
José Bruno Silva Gomes
Sara Paulina Noronha Lima
Herbert Fonseca da Silva
Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa

DOI 10.22533/at.ed.8972017099

CAPÍTULO 10..... 122

INFLUÊNCIA DO USO DE AGENTE MODIFICADOR DE IMPACTO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO COPOLÍMERO RANDÔMICO DE POLIPROPILENO

Jesus Rogério Damé Pereira
Carmen Iara Walter Calcagno
Ruth Marlene Campomanes Santana

DOI 10.22533/at.ed.89720170910

CAPÍTULO 11..... 134

INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE SORBITOL E PROPILENOGLICOL NAS

CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DE FILMES DE QUITOSANA

Letícia Pereira Almeida

Francisco Fábio Oliveira de Sousa

DOI 10.22533/at.ed.89720170911

CAPÍTULO 12..... 140

O QUE FAZER COM OS REEE DO CESC E CESC?

Fernando Wesley Pinheiro Brito

Railane dos Santos de Sousa

Ana Sávia Constâncio da Silva

Maria de Fátima Salgado

DOI 10.22533/at.ed.89720170912

CAPÍTULO 13..... 152

LEVANTAMENTO SOCIOAMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS PERTENCENTES AO COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS SANTA TEREZA E SANTO ANTÔNIO

Walberisa Magalhães Gregório

Maria Cristina Bueno Coelho

Mauro Luiz Erpen

Maurilio Antônio Varavallo

Juliana Barilli

Asafe Santa Bárbara Gomes

Marcos Vinicius Giongo Alves

Marcos Vinícius Cardoso Silva

Yandro Santa Brigida Ataíde

DOI 10.22533/at.ed.89720170913

CAPÍTULO 14..... 160

REGRESSÃO MÚLTIPLA COMO INSTRUMENTO DE EXPLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VIOLÊNCIA NO BRASIL EM 2014

Afonso Fonseca Fernandes

Américo Matsuo Minori

Heber José de Moura

DOI 10.22533/at.ed.89720170914

SOBRE OS ORGANIZADORES 173

ÍNDICE REMISSIVO..... 174

PROPOSAL OF A CONCEPT FOR MODELING SMALL WIND TURBINES

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 05/06/2020

Heitor Andrade Porto

Escola de Engenharia de São Carlos –
Universidade de São Paulo
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/5754633102144823>

Arthur José Vieira Porto

Escola de Engenharia de São Carlos –
Universidade de São Paulo
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/2341590343643296>

Carlos Alberto Fortulan

Escola de Engenharia de São Carlos –
Universidade de São Paulo
São Carlos – SP
<http://lattes.cnpq.br/5175443246146343>

ABSTRACT: As the wind energy surge in the global energy scenario, small wind turbines start to receive more attention from researchers, as they focus on improving its efficiency and lowering its costs. This work presents a concept to quantify and optimize the energy conversion of small wind turbines. The main proposal of this concept is to alter the turbine's design goal, from the nominal power output curve design scope to a time-based energy conversion analysis. This can be done by studying the turbine dynamic response in all possible operational scenarios. The basis of a modified Blade Element Momentum (BEM) theory algorithm developed for the proposal is

presented. Also, a first consideration of applying Additive Manufacturing (AM) to the turbine blades production is made.

KEYWORDS: Small wind turbine, Blade element momentum theory, Additive manufacturing.

PROPOSTA DE CONCEITO PARA O PROJETO DE AEROGERADORES DE PEQUENO PORTE

RESUMO: No momento em que a energia eólica cresce no cenário de energia global, aerogeradores de pequeno porte começam a receber mais atenção de pesquisadores, com o foco na melhora da eficiência e redução de custos. Esse trabalho apresenta um conceito para quantificar e otimizar a conversão da energia de aerogeradores de pequeno porte. A proposta principal desse conceito é de modificar o objetivo de projeto, passando do escopo baseado na curva de potência nominal para um escopo de análise temporal de conversão de energia. Isso pode ser feito através do estudo da resposta dinâmica do gerador em todas as condições operacionais. A estrutura de um algoritmo baseado na teoria do elemento de pá desenvolvida para essa proposta é apresentada. Uma primeira consideração da aplicação de manufatura aditiva para a fabricação das pás é feita.

PALAVRAS-CHAVE: Aerogerador de pequeno porte, Teoria do elemento de pá, Manufatura aditiva.

1 | INTRODUCTION

Wind energy is one of the fastest-growing green energy sources on the planet, setting production records in 2014 and 2015. As the most committed countries keep their investments, new names are appearing in this energy field, GWEC (2016), raising the expected power potential to 800GW by 2021, Figure 1. Furthermore, the research field on the topic is also experiencing a big expansion, from structural, manufacturing, aerodynamic, and application perspectives, as presented in Tummala et al. (2016) and Chehouri et al. (2015).



Figure 1 - Wind energy market forecast for 2016 to 2021, GWEC (2016)

Wind turbines are divided into several classes according to their power output for a defined wind speed, varying from less than a kilowatt to several megawatts. The focus of this work is to evaluate and propose a method to increase the energy conversion and minimize the Cost Of Energy (COE) of small wind turbines, which equates the amount of energy converted by the turbine to its cost of production, as considered in Sunderland et al. (2016). According to ANEEL (2012), a small wind turbine is that with a nominal power output up to 100kW, however, this work will aim turbines with power output up to 5kW. This class of wind turbines is commonly used in urban and rural areas, regions where the wind pattern is mostly not deeply studied and suffers major influence from the surroundings.

Wind turbines have been mostly designed to have a high power output for a specific wind speed - usually the most frequent wind speed of the working location -, this is acceptable for places where the wind pattern is reasonably constant and well comprehended, cases encountered by the megawatt on and off-shore wind turbines. But, to harvest the most energy in low-speed turbulent environments, the project methodology of the wind turbine

must be redefined Wood (2004). A time-based energy conversion analysis must replace the maximum nominal power output concept. This means that the turbine must not only have a good performance for a specific and generally high wind speed but also be efficient for lower speeds and additionally for sudden speed changes.

Improving the turbine's performance in wind gusts means that it must have a good short-time dynamic response. In other words, the turbine must have a fast reaction to wind-speed changes, hence, a fast acceleration. This implies that the moment of inertia has a crucial role during the project, as it is inversely proportional to the acceleration. Therefore, the shape and material of the turbine blade highly influence its dynamic response.

It is evident that the turbine manufacturing cost influences the COE. The blade's complex geometry, which must comply with both structural, aerodynamic, and inertia requirements, makes them the most expensive part of the wind turbine. One of the proposals of this work is to evaluate the application of additive manufacturing to produce the blades. The increasing development of this technology, such as bigger, cheaper, and more precise machines combined with new design techniques may be a part of the solution for lowering the COE.

The most common methods for modeling wind turbines are the Blade Element Momentum (BEM) theory and other Computer Fluid Dynamics (CFD) methods Bai and Wang (2016). The BEM theory is based on dividing the blade into 2D airfoil sections and integrating their aerodynamic effects along its span. A downside of this method is that the 3D effects must be eventually implemented, however, the application of high fidelity models return good quality results in a short amount of computational time Du and Selig (1997), Elgammi and Sant (2017), Breton et al. (2008). Other CFD methods can give detailed and precise results, including direct 3D analysis, flow visualization, and wake patterns, but for so require longer computational time, which may preclude the application optimization techniques to the model.

In this work, a modified BEM algorithm is developed to be used with an optimization strategy for the modeling of small wind turbines.

2 | NUMERICAL APPROACH

The BEM method is based on dividing the turbine's blade into airfoil sections and summing their aerodynamic effects according to their radial position. Hence, the basis of the calculations is the airfoil's 2D aerodynamic data. For low angles of attack, this data can be acquired by different methods and software. But, for high angles of attack and low Reynolds numbers, a commonly faced condition by small wind turbines, this procedure becomes a cumbersome part of the method, situation addressed on Section 2.1.

One advantage of the BEM method, however, is the relatively low computational costs compared to other CFD methods. This fact allows it to be used in combination with

optimization algorithms. For this, it must have high fidelity results, and so, several correction models must be integrated during the calculations. These models intend to insert the 3D correction factors to the 2D aerodynamic calculations. The development and study of such methods are still a very exploited area in the wind turbine research field.

The major change on the algorithm in development is that, for simulating and optimizing the turbine short-time dynamic response, it needs to be structured to analyze its temporal behavior, from the initial state - no angular speed -, to a final desired condition - optimal angular speed or the equilibrium state -, instead of simply calculating the power output for a defined wind speed. This temporal analysis is done by dividing the turbine motion into two stages, an idling period in which it produces little or no power and accelerates slowly and a working period, in which the turbine has fast acceleration and a high power output, Figure 2. This discretization allows for a better understanding of the turbine motion and also of how these stages influence the overall energy production.

In Figure 2, it can also be seen that for the turbine to have a constant power output for a defined wind speed, a fixed and controllable angular speed must be set. This is a crucial aspect of wind turbine projects which is also widely studied, as in Kusiak et al. (2010) and Simani (2015).

Also in Figure 2 the effects of the uncertain 2D aerodynamic data are noticed. The lack of precise data for the high angles of attack and low Reynolds number, especially in the starting period, results in abrupt variations of the blades torque and consequently of the turbine power in between the time-steps.

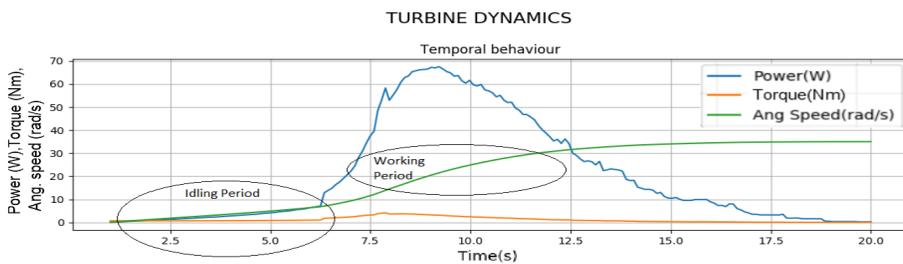


Figure 2 - Turbine dynamic response for a fixed defined wind speed, highlighting the idling - low acceleration and power - and working - high acceleration and power - stages on the angular speed curve. Figure generated by the algorithm in development

The basic structure of the algorithm consists of, for each time-step of the simulation, calculating the turbine's torque, angular acceleration, angular speed, and mechanical power.

The power available in the wind is given by:

$$P_a = 0,5\rho SV^3$$

Where ρ is the density of the air, S the wind turbine area, and V the wind speed. The optimal relation between the power extracted by the turbine and the power available in the wind, is 59,3% called the Betz-Joukowski limit, van Kuik et al. (2015). This means that the optimal turbine will have a power output of $0,593 \cdot 0,5\rho SV^3$.

The power of the wind turbine can be expressed as:

$$P_i = (T_i - T_r) \cdot \omega_i$$

where T_i is the sum of the blades torques, T_r is the sum of the resistive torques, for example, the generator cogging torque, and ω_i is the angular speed. The latter is defined as:

$$\omega_i = \alpha_i \cdot \delta_t + \omega_{i-1}$$

being δ_t the time-step, α_i the angular acceleration, and ω_{i-1} the angular speed of the previous step. As for the angular acceleration, it is calculated as:

$$\alpha_i = \frac{T_i - T_r}{I}$$

where I is the second moment of inertia of the turbine.

Therefore, for each time-step of the simulation, turbine data such as 2D aerodynamics, 3D corrections, induction factors, and torque, must be recalculated.

These procedures are described in the following sections.

2.1 2D aerodynamic data

As previously stated, for each time-step of the simulation and for each airfoil section, new data such as Reynolds number, angle of attack, C_l and C_d must be acquired. Considering this and to maintain a reasonable time for the simulation, the 2D aerodynamic coefficients are pre-calculated using the Xfoil software and stored separately in a text file. Hence, during the simulations, the algorithm must merely read the text files containing the data.

The 2D coefficients are simple to acquire when referring to usual situations, that is, low angles of attack up to the stall angle. However, during the operation of a small wind turbine, the airfoils will face very high angles of attack, up to 90° - tip airfoils when the turbine is still. To tackle these cases where the software is unable to return acceptable results, methods were developed to extrapolate the coefficients to high angles of attack, Viterna and Janetzke (1982). Yet, some combinations of angles of attack and Reynolds numbers can result in cases where there may be voids of data, as the software fails to converge and return results. These data voids are a known deficiency of the algorithm and an issue difficult to overcome when it comes to small wind turbine design.

Even demonstrating some convergence issues, Xfoil has shown to be a suitable software for the calculations of the 2D aerodynamic data, Wata et al. (2011).

2.2 3D correction models

To use the 2D aerodynamic data in the calculations, some correction models must be applied. They aim to represent 3D effects, such as stall-delay Figure 3, dynamic stall, and tip-loss, giving the model higher fidelity.

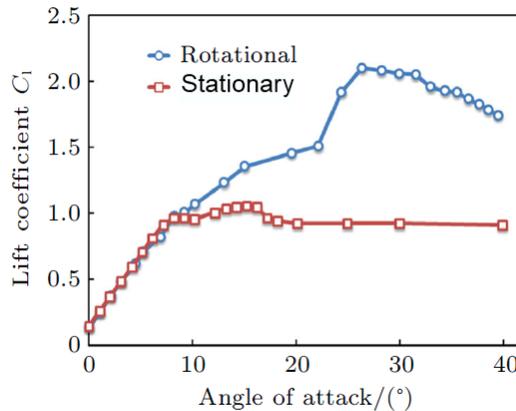


Figure 3 - Stall-delay effect, an example of how the rotational effects influence the 2D aerodynamic data - the latter labeled as stationary -, figure adapted from Wang (2012)

Several models have been developed, Du and Selig (1997), Elgammi and Sant (2017), Breton et al. (2008), Ning (2013), Shen et al. (2014), and work is still being done aiming to develop more exact wind turbine modeling methods. The main setback of these methods is that their effects are difficult to be measured experimentally, and when this is achievable, they tend to be biased by the one wind turbine being tested and end up not being suitable for other configurations of turbines.

Breton et al. (2008) compared some stall-delay methods, Shen et al. (2014) developed new methods for the tip-loss factor, Elgammi and Sant (2017) recently developed a new stall-delay method combined with their tip-loss factor. These novel approaches show an insight on how they are tending to get more exact as the researches on the field grow in importance.

One of the goals of this work is to gather some of the developed methods and apply the most suitable ones, remembering that they are ought to be used in an optimization process. As the methods have to be used in every time-step of the simulation, not only high fidelity results but also the computational cost is important when selecting the ones to be implemented in the algorithm.

2.3 Induction factors

Another crucial characteristic of wind turbines, which is also a 3D effect, is the occurrence of induction factors. These change the flow characteristics and ultimately alter the fluid direction over the airfoil sections. This is a consequence of the influence of the wakes created by the blades on the incoming flow, van Kuik et al. (2015).

In Figure 4, it can be seen how the induction factors a and a' act on altering the flow behavior. Ω the angular speed, r the airfoil radial position, U_∞ the wind speed, and the ϕ resultant flow angle.

As well as 3D corrections, methods have been developed to accurately calculate the values of the induction factors, Ning (2013), Guntur and Sørensen (2014).

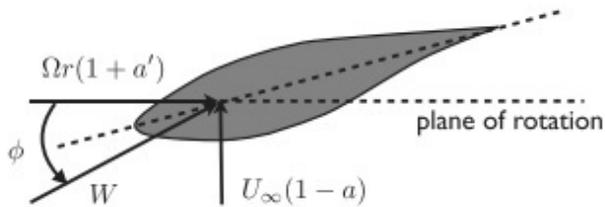


Figure 4 - Induction factors acting on a rotating airfoil section, is the axial induction factor and the radial induction factor, Ning (2013)

2.4 Torque calculation

The turbine torque is the sum of the blades torque minus the resistive torques. The blade torque can be expressed as the summation of the airfoil sections torque:

$$blade_{torque} = \sum_{i=1}^n PT_i \cdot position_i$$

The position_i is the distance of the current airfoil to the turbine axis of revolution, while PT_i is the airfoil tangential force, which is directly related to its aerodynamic forces, as seen in Figure 5. L is the lift force, perpendicular to the wind direction and D the drag force parallel to the wind direction. Both derived from the aerodynamic coefficients:

$$\begin{cases} L = 1/2\rho C_l cW^2 \\ D = 1/2\rho C_d cW^2 \end{cases}$$

being ρ the air density, c the airfoil chord and W the wind speed

PT is the tangential force, acting parallel to the rotation plane, and PN is the normal force, perpendicular to the rotation plane. These are related to the lift and drag forces as shown in:

$$\begin{cases} P_N = L \cos(\Phi) + D \sin(\Phi) \\ P_T = L \sin(\Phi) - D \cos(\Phi) \end{cases}$$

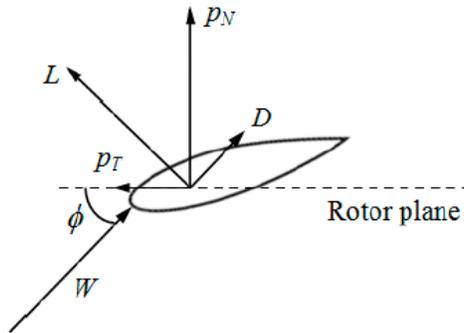


Figure 5 - Force diagram on an airfoil section. L is the lift force, perpendicular to the wind direction. D is the drag force parallel to the wind direction. P_T is the tangential force. P_N is the normal force. Zhu et al. (2017)

The modeling of the resistive torques that act in a wind turbine is not a simple task to execute as they are related to the type of generator, electrical connection, and bearing selection. For the small wind turbine class, the generator resistive torque is one that can highly influence the turbine's performance, Pourrajabian et al. (2014) and Wood (2004), and thus should be given special attention during the simulations.

2.5 Validation

To test and validate the developed algorithm, the results were compared with data of wind turbine models from the literature. As the great majority of cases available follow the nominal power output project concept, the validation was made by comparing a *Power X Wind speed* curve instead of a dynamic response curve, Figure 2. This is achievable on the algorithm by capturing the power value correspondent to the angular speed used in each test.

To ensure the algorithm's applicability to a wide range of turbines categories, it was compared with turbines of different sizes. The first model, Figure 6 and Figure 7, has 0.45m rotor diameter and 25W nominal power output. The second, Figure 8, a 38.5m rotor diameter and 105kW nominal power output.

Figure 6 depicts the comparison between the algorithm's result and the model from Lanzafame et al. (2016). The original work mentioned that, due to wind tunnel blockage effects, the measured data was underestimated. No resistive torques were implemented in the solution given by this work algorithm, and the efficiency between the mechanical and electric conversions was defined as 100%, yet another reason for the difference in the results. In Figure 7, with 85% energy conversion efficiency, the results are more

compatible, still, the implications of the blockage effects on the experimental data and the no implementation of further losses models on the algorithm can be seen.

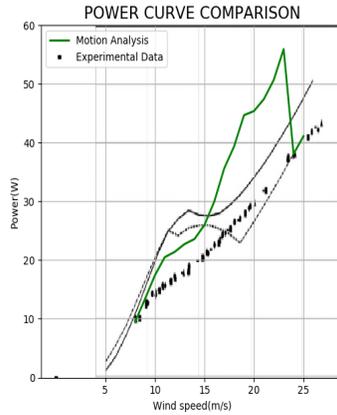


Figure 6 - Comparison between the algorithm's result and the test case from Lanzafame et al. (2016). The green curve represents the output of the algorithm with a 100% energy conversion efficiency and the points represent the experimental data. The dark curves are the results from the algorithm developed in the reference work.

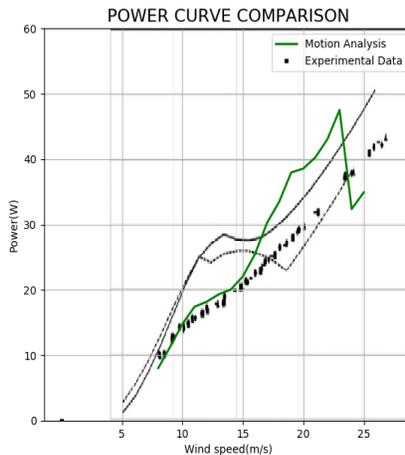


Figure 7 - Comparison between the algorithm's result and the test case from Lanzafame et al. (2016). The green curve represents the output of the algorithm with 85% energy conversion efficiency and the points represent the experimental data. The dark curves are the results of the algorithm developed in the reference work

In Figure 8, the algorithm was compared against an experimental case from Viterna and Janetzke (1982). In this case, the authors presented a model for the compensation

of the system losses. With this model, high accuracy could be achieved by the algorithm. Furthermore, the comparison was performed up to the nominal wind speed, in which the curves stabilize at constant power.

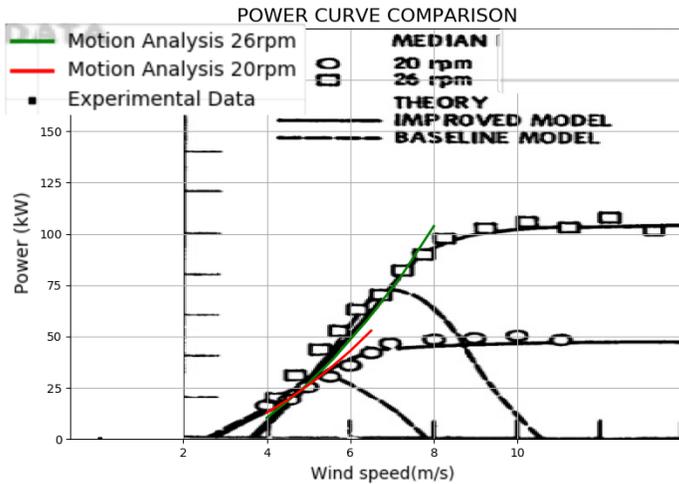


Figure 8 - Comparison between the algorithm's result and the test case from Viterna and Janetzke (1982). The green and red curves represent the output of the algorithm and the points represent the experimental data. The dark curves are the results from the algorithm developed in the reference work

The results show good agreement with the experimental data and highlight the importance of properly defining the losses that occur on the models.

3 | ADDITIVE MANUFACTURING

Given the recent developments in this technology, Additive Manufacturing (AM) is transforming the way mechanical parts are designed. Now, they are not restricted anymore to the constraints of machine tools or molding dependent techniques, which were a central part of the design process of wind turbine blades.

In AM, the design phase has increased flexibility, as complex parts can be manufactured easier and faster. Furthermore, new manufacturing concepts are being implemented during the design of mechanical parts, Comotti et al. (2017), such as different infill methodologies, topology optimization, and also a multi-material approach.

When considering wind turbines, as well as the small wind turbine category, the blades are their most expensive part. Their complex geometry pushes standard manufacturing methods - e. g. machine tools for metals and molding techniques for composite materials - to their limits. And also, the limitations of such manufacturing methods impede the design

of more complex blades.

The use of AM to produce the blades can not only allow for the development of more elaborate geometries but also improve its structural components and ultimately create a model with high performance and low moment of inertia. Another point that may be improved is the total time that it is necessary to manufacture a blade, Bassett et al. (2015), faster AM processes should lead to shorter manufacturing times and reduce the COE.

4 | CONCLUSION

The preliminary version of the simulation algorithm showed good results and highlighted the importance of the correct modeling of the different losses that may occur on wind turbines. Further testing and validation are still necessary before optimization techniques can be applied for the design of small wind turbine models. Also, a model for calculating the COE, considering the features of AM must be developed. For so, an accurate study must be performed to evaluate the total impact of AM on the small wind energy scenario.

The results of the algorithm in development allowed for a deeper understanding of the turbine dynamic response, presenting the possibility to explore and optimize all work conditions of small wind turbines and with this increase its time-based performance.

The future work is to manufacture a small wind turbine model using AM, to measure the turbine dynamic response curve on a wind-tunnel (the same delivered by the algorithm) allowing the further development of the algorithm, and to qualitatively and quantitatively evaluate the use of AM for the production of the blades.

REFERENCES

ANEEL, 2012. **Resolução normativa** nº 482, de 17 de abril de 2012.

BAI, C. J.; WANG, W. C., 2016. **Review of computational and experimental approaches to analysis of aerodynamic performance in horizontal-axis wind turbines (HAWTs)**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 63:506-19.

BASSETT, K.; CARRIVEAU, R.; TING, D. K., 2015. **3d printed wind turbines part 1: Design considerations and rapid manufacture potential**. Sustainable Energy Technologies and Assessments.

BRETON, S. P.; COTON, F. N.; MOE, G., 2008. **A study on rotational effects and different stall delay models using a prescribed wake vortex scheme and NREL phase VI experiment data**. Wind Energy, 11(5):459-482.

CHEHOURI, A.; YOUNES, R.; ILINCA, A.; PERRON, J., 2015. **Review of performance optimization techniques applied to wind turbines**. Applied Energy, 142:361-388.

COMOTTI, C.; REGAZZONI, D.; RIZZI, C.; VITALI, A., 2017. **Additive manufacturing to advance functional design: An application in the medical field.** Journal of Computing and Information Science in Engineering.

DU, Z.; SELIG, M. S., 1997. **A 3-d stall-delay model for horizontal axis wind turbine performance prediction.** American Institute of Aeronautics and Astronautics.

ELGAMMI, M.; SANT, T., 2017. **A new stall delay algorithm for predicting the aerodynamics loads on wind turbine blades for axial and yawed conditions.** Wind Energy.

GUNTUR, S.; SØRENSEN, N. N., 2014. **An evaluation of several methods of determining the local angle of attack on wind turbine blades.** Journal of Physics: Conference Series, 555:012045.

GWEC (2016). **Market forecast for 2017-2021.** Available at: <http://www.gwec.net/global-figures/market-forecast-2012-2016>.

KUSIAK, A.; LI, W.; SONG, Z., 2010. **Dynamic control of wind turbines.** Renewable Energy, 35(2):456-463.

LANZAFAME, R.; MAURO, S.; MESSINA, M., 2016. **Numerical and experimental analysis of micro HAWTs designed for wind tunnel applications.** International Journal of Energy and Environmental Engineering, 7(2):199-210.

NING, S. A., 2013. **A simple solution method for the blade element momentum equations with guaranteed convergence.** Wind Energy.

POURRAJABIAN, A.; EBRAHIMI, R.; MIRZAEI, M., 2014. **Applying micro scales of horizontal axis wind turbines for operation in low wind speed regions.** Energy Conversion and Management, 87:119-127.

SHEN, W. Z.; ZHU, W. J.; SØRENSEN, J. N., 2014. **Study of tip loss corrections using CFD rotor computations.** Journal of Physics: Conference Series, 555:012094.

SIMANI, S., 2015. **Overview of modelling and advanced control strategies for wind turbine systems.** Energies, 8(12):13395-13418.

SUNDERLAND, K. M.; NARAYANA, M.; PUTRUS, G.; CONLON, M. F.; MCDONALD, S., 2016. **The cost of energy associated with micro wind generation: International case studies of rural and urban installations.** Energy, 109:818-829.

TUMMALA, A.; VELAMATI, R. K.; SINHA, D. K.; INDRAJA, V.; KRISHNA, V. H., 2016. **A review on small scale wind turbines.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56:1351-1371.

VAN KUIK, G.; SØRENSEN, J.; OKULOV, V., 2015. **Rotor theories by professor joukowsky: Momentum theories.** Progress in Aerospace Sciences, 73:1-18.

VITERNA, L.; JANETZKE, D., 1982. **Theoretical and experimental power from large horizontal-axis wind turbines.** NASA TM-82944.

WANG, T., 2012. **A brief review on wind turbine aerodynamics**. Theoretical and Applied Mechanics Letters, 2(6):062001.

WATA, J.; FAIZAL, M.; TALU, B.; VANAWALU, L.; SOTIA, P.; AHMED, M. R., 2011. **Studies on a low reynolds number airfoil for small wind turbine applications**. Science China Technological Sciences, 54(7):1684-1688.

WOOD, D. H., 2004. **Dual purpose design of small wind turbine blades**. Wind Engineering, 28(5):511-527.

ZHU, J.; CAI, X.; GU, R., 2017. **Multi-objective aerodynamic and structural optimization of horizontal-axis wind turbine blades**. Energies, 10(1):101.

CAPÍTULO 2

PROPOSTA DE ALGORITMO PARA REGRAS DE CIRCULAÇÃO DE TRENS EM FERROVIA SINGELA COM PONTOS DE CRUZAMENTO EM MODELO DE SIMULAÇÃO BASEADA EM EVENTOS DISCRETOS OU AGENTES

Data de aceite: 01/09/2020

Rafael Buback Teixeira

IFES - Instituto Federal do Espírito Santo -
Campus Cariacica
Cariacica, Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/6349576125732853>

Luiz Henrique Lima Faria

IFES – Instituto Federal do Espírito Santo –
Campus Cariacica
Itacibá – Cariacica/ES – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4804415617552938>

Afonso Celso Medina

Escola Politécnica da Universidade Federal do
Espírito Santo
São Paulo, São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/1716067495545837>

Augusto Cesar Pereira

GENOA – Consultoria em Projetos de
Simulação e Otimização
São Paulo – SP – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1022640878729024>

Frederico Augusto Coelho Vieira da Costa

IME - Instituto Militar de Engenharia
Rio de Janeiro, Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/0236723644939736>

Luiz Antonio Silveira Lopes

IME - Instituto Militar de Engenharia
Rio de Janeiro, Rio de Janeiro
<http://lattes.cnpq.br/4190993496892481>

Ivan Ronei Herzog Mação Campos

IFES - Instituto Federal do Espírito Santo -
Campus Cariacica
Cariacica, Espírito Santo
<http://lattes.cnpq.br/7040271578672914>

Lucas Corteletti Rodrigues

GEMAD – Grupo de Estudo em Manufatura
Digital
Rod. Gov. José Henrique Sette, 184 – Itacibá –
Cariacica/ES - Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3596227034383944>

RESUMO: Um dos principais problemas que os estudos de capacidade de sistemas ferroviários se deparam é representado pela complexidade derivada do grande número de variáveis probabilísticas e determinísticas. É necessário simplificações para adoção desses modelos como ferramenta de tomada de decisão. Na simulação de ferrovia com n pontos de cruzamento, por exemplo, deve-se implementar regras de circulação que permitam movimento de trens na ferrovia semelhante à realidade, sem os indesejáveis travamentos por decisões equivocadas de preferência no uso de pátios ou linhas singelas. Este artigo apresenta um algoritmo de controle de tráfego para aplicação em simulador baseado em eventos discretos ou mesmo agentes. O algoritmo proposto considera as paradas por manutenção, trens que circulam sem programação prévia de horário de chegada e trens com horário preestabelecido de chegada. Os resultados apresentados apontam que o algoritmo proposto é capaz de coordenar toda a dinâmica de trens na simulação com tempos computacionais reduzidos.

PALAVRAS CHAVE. Simulação ferroviária, Agentes, Controle de Tráfego Ferroviário.

TÓPICOS: Simulação, Algoritmo, Logística Ferroviária.

1 | INTRODUÇÃO

No desenvolvimento de modelos de simulação de eventos discretos ou de agentes, a abstração do sistema a ser simulado para a construção da modelagem conceitual deve considerar lógicas simplificadas e eficientes que permitam, com confiabilidade, auxiliar na resolução de problemas complexos. Durante o processo de construção conceitual do modelo, o analista tem que identificar as circunstâncias com as quais as atividades se iniciam e terminam, bem como os agendamentos de decisões que satisfazem as condições ou limitantes ao comportamento anterior (FURIAN et. al, 2018). Tal abstração, quando aplicada em alguns sistemas reais, pode se tornar complexa, principalmente quando leva em consideração simuladores de tráfego de trens com pátios de cruzamento com vias singelas ou duplas.

Neste contexto, os simuladores de tráfego de trens, principalmente quando baseados em eventos discretos, possuem um dificultador no que se refere à definição de lógicas capazes de evitar que decisões do simulador ocasionem, em eventos futuros no decorrer da simulação, o travamento do sistema, inviabilizando os resultados obtidos do simulador. Não obstante à essa situação, a simulação de eventos discretos não tem por fundamento a otimização quanto aos eventos futuros dada uma decisão presente (FARRELL, 1977). Apesar de modelos matemáticos como os da UIC 406 de 2004 apontarem que para a determinação da capacidade máxima de uma via ferroviária é necessária a otimização dos resultados, uma lógica genérica que permita que o tráfego de trens seja realizado, com trens em ambos os sentidos da via, mesmo sem otimização de eventos futuros, para aplicação em simulador de eventos discretos ou agentes, é relevante para auxiliar na concepção desses simuladores.

Deste modo, esta pesquisa tem por objetivo propor um algoritmo de circulação de trens baseado no controle de tráfego seguro com abordagem baseada em processos, que possa facilmente ser aplicado em lógica de simulação de eventos discretos ou agentes. O algoritmo proposto tem como propósito representar as decisões de criação de rotas de trens em linha singela com diversos pontos de cruzamento. A ideia principal do algoritmo é formalizar uma função para análise de fluxo que permita que o trem seja liberado com segurança de um pátio para outro seguinte na sua rota, sem riscos de travamento do tráfego por conta de liberações equivocadas e, conseqüentemente, choques dos trens.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

Os cruzamentos em linhas férreas singelas são permitidos mediante a utilização de um aparelho de mudança de via (AMV), podendo os mesmos serem liberados por sinais em vias com sinalizações mais arcaicas e por rotas seguras em vias com sinalizações mais novas. (CAPPART, 2017).

Conforme a Norma 406 da Union Internationale Des Chemins de Fer – UIC, a capacidade de infraestrutura ferroviária depende da forma como ela é operada, sendo os parâmetros básicos que sustentam a capacidade relacionados às características da via, do sistema de sinalização, da programação do transporte dos trens e do nível de pontualidade imposta.

Em vista desta problemática nas estradas de ferro, modelos de otimização matemática e algoritmos heurísticos têm protagonizado diferentes práticas no seu âmbito gerencial (CORMAN et al., 2011). Nesse sentido, as altas porções de tempo para determinar soluções factíveis, a garantia da melhor solução e sobretudo a dificuldade de formular modelos analíticos, devido à vulnerabilidade a elementos complexos, propiciaram aplicações de simulações (XU et al., 2018; FU et al., 2016).

Dadas as motivações de uso e contexto desta pesquisa, as simulações, definidas como imitações simplificadas das operações de um sistema ao longo do tempo para fins de compreensão e/ou melhoria (STEWART, 2014), possuem empregos diversos, principalmente em sistemas complexos como os ferroviários.

Autores como Dessouky e Leachman (1995), Lu et al. (2004) e a Dorfman e Medanic (2004) já pesquisaram sobre análise da capacidade de cruzamentos férreos complexos, metodologia para modelagem e simulação de entroncamentos de linhas de ferro simples e complexas com configuração múltipla de trajeto e de velocidade e sobre o desenvolvimento de estratégias para enfrentar perturbações na grade horária dos trens através de simulações. Já pesquisadores como Xu et al. (2019) focaram suas pesquisas na evidenciação e resolução de modelos de otimização com base nas regras de alocação e métodos de simulação, conseguindo resultados sobre a atribuição de locomotivas a trens não planejados com horário de saída ao invés daqueles com cronograma pré-agendado em estradas de ferro com vias singelas. Apesar de modelos desta natureza não ser o foco deste trabalho (voltado para a alocação de material rodante), ele contribui para criação da lógica do trabalho proposto devido ao entendimento do autor na forma de circulação e operacionalização do modelo.

Conforme Şahin (1999), o tráfego de trens em uma via singela com diversos pontos de cruzamento considera, na prática, um sistema de sinalização de modo a gerar condições seguras para a movimentação dos trens em diversos segmentos de bloqueio (SB). Algumas regras são definidas de forma mais rígida e outras mais flexíveis, de acordo com o sistema de sinalização da companhia que opera a via férrea.

Paralela às simulações de cruzamento de trens relatadas, citações e pesquisas sobre formas usuais de desenvolvimento de modelos de simulação de eventos discretos (*Discrete Event Simulation* – DES) e simulação baseada em agentes (*Agent-Based Simulation* – ABS) também são necessárias. Assim, segundo Borshchev et al. (2004), ambas as formas de modelagem possuem singularidades quanto ao emprego e eficácia de

uso, porém, DES são denominadas pela presença da entidades (objetos passivos) as quais passam por blocos de fluxograma onde podem permanecer em filas, serem atrasadas, processadas, combinadas etc., ao passo que na abordagem ABS, o comportamento global advém da manifestação de objetos ativos com conduta individuais descritas na modelagem. De maneira complementar, Chan et al. (2012) reitera que a distinção entre as duas deve-se devido à natureza proativa, autônoma e inteligente do ABS ao passo da postura simples, reativa e de capacidade limitada das entidades.

Desta forma, a construção de um modelo de simulação baseado em eventos discretos de uma operação de movimentação de trens em uma linha singela, para decisões tático-estratégicas, apresenta dificuldades tangentes à definição de regras gerais para resolver o problema do tráfego de trens de modo a permitir refletir uma realidade operacional, sem riscos de travamento do sistema de circulação e, por consequência, da replicação de simulação. Por outro lado, a adoção de simulação de agentes pode ser uma saída interessante no tocante à modelagem de sistemas ferroviários, visto que o agente é um elemento com uma pseudo inteligência artificial capaz de tomar decisões a partir de interações com o meio, percebendo o ambiente e agindo de acordo com sua percepção (FERBER. 1999). O agente, portanto, comunica-se com o meio, sendo capaz de se modificar a partir de uma nova condição e de modificar o meio a partir de tomadas de decisões previamente estabelecidas (WOOLDRIDGE, 2002).

Independentemente do método de solução do problema de modelagem de cruzamentos ferroviários, uma metodologia bastante usual para desenvolvimento de modelos de simulação é a proposta por Banks (2010). De acordo com o autor, três abordagens são conhecidas na elaboração de simulação baseada em eventos discretos, sendo: i) baseada em tabela de eventos; ii) baseada em atividades e; iii) baseada em processo. A abordagem baseada em processos é interessante pois permite considerar alguns aspectos de simulação de agentes, por meio do controle iniciado para cada entidade do sistema que, dependendo da forma de interação entre elas, podem assumir formas de agentes inteligentes (BANKS, 2010). Devido ao grande avanço dos softwares de simulação, atualmente é possível pensar em novos paradigmas de simulação, não nos reservar somente a um método de simulação para resolução de problemas e permitindo a aplicação de diversos métodos combinados de modo a aproveitar o que há de melhor em cada um para uma decisão mais robusta.

3 | ABSTRAÇÃO DO SISTEMA DE TRÁFEGO DE TRENS EM VIA SINGELA

Etapa importante do processo de construção de um modelo de simulação é a modelagem conceitual que exige o exercício de abstração do sistema real, trazendo uma caracterização do sistema que seja compatível com as perguntas que se desejam respondidas pelo modelo. É um processo que requer criatividade ao ponto de trazer ao contexto o sistema em diversos formatos (FURIAN et. al, 2018).

Considere-se um problema de escoamento de carga de uma unidade de produção (por ex.: minas de carvão, minério etc.) até uma unidade demanda (por ex.: portos de exportação). As unidades de produção e de demanda são interligadas por um sistema ferroviário que tem objetivo de transportar toda a carga da produção até a demanda. Esse sistema é composto por uma única via singela e por diversos pátios de cruzamento, com duas seções de bloqueio cada. Trens trafegam por essa via singela tanto no sentido 'descendo' (da produção até a demanda) e cheios, quanto no sentido 'subindo' (da demanda até a produção) e vazios, similar ao exemplo descrito na Figura 1.

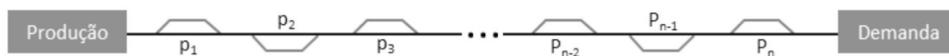


Figura 1 – Representação da via singela de n pátios de cruzamento separados por trechos singelos

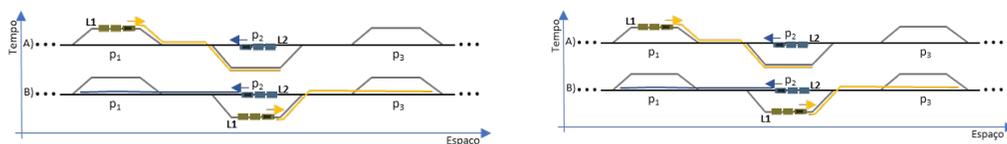
As unidades de produção e demanda possuem fila de atendimento, que recebe os trens para o processamento. A capacidade limitada das filas tem relação com a capacidade de acomodação dos trens nos pátios de recepção dentro das unidades, assim como para a quantidade de pontos de carregamento (por ex.: silos de carregamento) ou descarregamento (por ex.: viradores de vagões) para o processamento. Na unidade de produção, durante o processamento dos trens, é realizado o carregamento e na unidade de demanda, por sua vez, é realizado o descarregamento (esses processamentos são realizados por uma determinada taxa de atendimento). Os trens que forem impedidos de entrar na unidade de produção ou demanda, por limitação da fila, permanecem na ferrovia até que haja disponibilidade, respeitando regras gerais para evitar travamentos.

Neste cenário, todos os trens que realizam o atendimento entre a produção e demanda permanecem no sistema em circuito fechado, porém existem trens que interferem na circulação de outros trens, como de carga geral, que são gerados em determinado pátio de cruzamento (p_i) e dispensados em outro pátio de cruzamento (p_j). Isso considera o fato de que há outras ramificações do sistema ferroviário para outras unidades produtivas e logísticas que não são escopo do sistema considerado, mas que utilizam parcialmente os recursos de ferrovia e, por esse motivo, precisam ser considerados na simulação.

Além de todas essas questões com relação aos trens, unidades, via singela e pátios, é importante considerar outras interferências comuns nos sistemas produtivos. Os recursos possuem sua eficiência atrelada às suas confiabilidades. Com baixa confiabilidade o risco de problema inesperado aumenta para os recursos, necessitando intervenções de manutenção corretiva para tornar o recurso novamente disponível. As manutenções corretivas na via somente ocorrem quando há um segmento bloqueado e um trem em mesma atividade (movimentação). Assim, a indisponibilidade momentânea do recurso

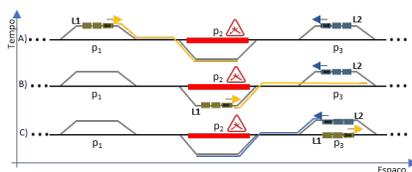
em manutenção corretiva ocasiona interrupção da atividade de movimentação do trem e, conseqüentemente, diminui a capacidade da via singela, pelo menos no trecho afetado, em atender à demanda. De modo a evitar a necessidade de manutenções corretivas, são escalonadas manutenções preventivas ao longo da via, mantendo a confiabilidade dos recursos em níveis pelo menos aceitáveis.

Na dinâmica ferroviária em via singela, os cruzamentos de trens são eventos relativamente comuns, podendo existir diversas situações onde tal dinâmica se faz presente. O cruzamento simultâneo ocorre sem necessidade de espera pelos trens que trafegam em sentidos contrários (Figura 2a). No exemplo da figura, no instante de tempo 'A' o trem à esquerda L1 segue no sentido 'descendo' de p_1 a p_3 e o trem à direita L2 segue no sentido 'subindo' de p_3 a p_1 . O pátio p_2 está totalmente livre, com duas SBs livres. O trem L1 e o pátio L2 alocam, cada um, uma SB no pátio p_2 e seguem para o pátio p_2 . Após chegarem no pátio p_2 no instante 'B', o trem L2 aloca espaço no pátio p_1 , enquanto o trem L1 aloca espaço no pátio p_2 . Após seguirem aos respectivos pátios alocados, o cruzamento é finalizado.



(a) cruzamento simultâneo

(b) cruzamento não simultâneo



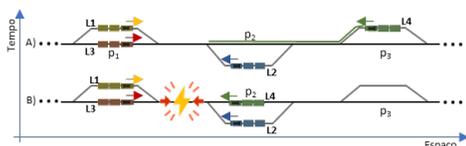
(c) cruzamento com pátio parcialmente em manutenção

Figura 2 – Exemplo de esquemas de movimentação para cruzamento de trens.

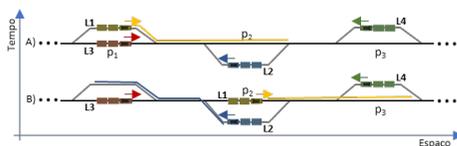
Outro tipo de cruzamento comum, visto que os movimentos são todos assíncronos na realidade da dinâmica ferroviária, é ilustrado na Figura 2b. No exemplo da figura, o trem L1 chegou primeiro no pátio p_1 , enquanto que o trem L2 chegou depois do pátio p_2 . Então, no instante 'A', o trem L1 tem prioridade em utilizar a singela para seguir do pátio p_1 até o p_2 . O trem L2, como não pode utilizar a singela, aguarda até o instante 'B' o trem L1 torna disponível a singela novamente que irá ser utilizada pelo trem L2 a partir desse instante.

Além das situações já exemplificadas acima, um exemplo de cruzamentos pode haver em situações em que manutenções preventivas são realizadas na via. Assim, quando o pátio está em manutenção parcial, estando disponível somente uma SB, mesmo com a singela entre pátios disponível, um trem terá que aguardar outro para utilizar o pátio que se encontra parcialmente em manutenção preventiva, conforme ilustrado na Figura 2c.

Na dinâmica ferroviária, caso as decisões de liberação e retenções de trens não ocorram de forma satisfatórias, podem ocorrer situações de travamento, em que os trens, em determinado trecho da via, não conseguem mais avançar, em virtude de dois trens permanentemente no pátio seguinte, em sentido contrário. A solução que pode corrigir esse problema, na prática, é permitir a passagem de um ou mais trens no sentido contrário do seu fluxo, provocando o destravamento. No exemplo da Figura 3a, é possível visualizar o momento em que o trem L4 é liberado para seguir ao pátio p_2 por ser o trem que requisitou primeiro seguir à frente. No instante 'B', após a movimentação do trem L2, ocorre o travamento do trecho. Em contrapartida, na Figura 3b, se o trem L4 não for liberado, o trem L1 pode ser liberado primeiro no instante 'A' e, em seguida o trem L2 ser liberado para o pátio p_1 , resolvendo o conflito.



(a) travamento de trecho ferroviário



(b) não travamento de trecho ferroviário

Figura 3 – Esquema da movimentação em cruzamento com possibilidade de travamento

Pode-se enumerar diversas situações que podem ocorrer na prática e que requerem decisões de qual trem liberar primeiro, numa análise de consequências de eventos futuros e que afetam as decisões dos outros trens. O importante é analisar o impacto de cada decisão de liberação de trens ou definir regras que garantem que o resultado seja um sistema sem travamentos.

4 | O SIMULADOR DE TRÁFEGO DE TRENS

Os gestores das linhas ferroviárias criam sistemas e controle em tempo real que evitam a ocorrência de travamentos. As decisões podem ser tomadas em conjunto, por meio de otimizadores de tráfego, com as devidas restrições, ou mesmo por regras de circulação, que analisa decisões na visão de cada trem. Saber qual decisão irá ser tomada no sistema para evitar esse tipo de conflito define que tipo de solução deve ser

utilizada para o controle de tráfego. Em estudos de capacidade de sistemas ferroviários, são desenvolvidos simuladores que representam com fidelidade a dinâmica ferroviária.

O modelo proposto nessa pesquisa foi desenvolvido para demonstrar a aplicabilidade do algoritmo de controle de tráfego de trens proposto, que busca aplicar regras de tráfego, sem otimização, e que evitam o travamento de trens no sistema. Foi desenvolvido baseado em processos e funções assíncronas que se comunicam por meio dos eventos discretos ao longo da execução da simulação.

A ferrovia modelada possui toda configuração de pátios, trechos singelos e segmentos de bloqueio (SB), bem como suas relações. Cada SB possui uma especialização que define a SB Pátio e a SB Singela. A diferença principal nesses casos é que a SB Pátio é contida no pátio de forma paralela e a SB Singela é contida no trecho singelo. A simulação considera cada SB como um recurso de via com capacidade de atender somente um trem ou uma manutenção preventiva por vez. A alocação do recurso SB acontece antes do movimento do trem até sua ocupação, de modo a evitar que dois trens se locomovam para o mesmo SB ou para um SB em manutenção.

Após iniciar a simulação é disparado um processo de *gerador_trem()*, que gerencia os eventos relacionados à geração de cada trem no sistema. Esse processo se mantém ativo até que não haja mais eventos futuros de geração de trens. O processo *ferrovia_CCO()*, também disparado no início da simulação, que trata do controle dos trens, coordenando todo o fluxo na ferrovia. Em virtude de restrições de publicação, esses processos não serão apresentados nesse artigo.

O modelo de simulação considera o sistema abstrato como descrito e assumindo que os trens principais permanecem em circuito fechado, ora sendo carregados na unidade de produção ora sendo descarregados na unidade de demanda. Deste modo, todos os trens estão em sentido descendo à demanda ou subindo à produção. Com essa simulação é possível realizar estudos de capacidade do sistema ferroviário em atender a logística entre produção e demanda. Entretanto, o foco principal desse artigo é propor o algoritmo que realiza o controle de tráfego de trens dentro do modelo de simulação, buscando refletir uma realidade observada em sala de controle de sistemas reais.

5 | ALGORITMO DE CONTROLE DE TRÁFEGO DE TRENS

O algoritmo de controle de tráfego de trens proposto considera regras gerais para permitir a liberação ou não dos trens ao longo dos pátios de cruzamento de modo a impedir travamentos do sistema. O algoritmo não possui capacidade de prever o futuro ou realizar otimizações do mesmo. Entretanto, suas regras gerais são capazes de prevenir que, após diversas possibilidades de estados futuros no sistema, não existam conflitos que ocasionem o travamento do sistema em virtude de liberações equivocadas de trens de um pátio a outro. Na tabela 5 são apresentados os objetos trem, singela, pátio, SB e unidade, com seus respectivos parâmetros.

Na Tabela 1 e 2 são apresentados alguns parâmetros e vetores para o controle de tráfego. A unidade de produção e demanda é definida como parâmetro na simulação baseadas na classe unidade. O vetor `trens[]` contém cada trem do sistema assume uma posição que representa sua identificação na simulação. Os pátios também são organizados em um vetor ordenado, pátios, de modo que, para o pátio na posição n , pátio seguinte na direção descendo (à unidade de demanda) é $n+1$ e o pátio seguinte na direção subindo (à unidade de produção) é $n-1$. Os segmentos de bloqueio são organizados no vetor `sbs[]`. Os pátios contêm a referência da próxima singela na direção descendo. Assim toda a ferrovia de via singela permanece conectada entre os diversos pátios e singelas. Cada pátio também possui referência de cada SB, bem como a singela com sua SB referenciada. `Fila_CCO` é o vetor que representa a fila de trens aguardando liberação do CCO.

Objetos/Atributos/Métodos	Tipo	Descrição
Trem	classe trem	Objeto do tipo trem
- trem.sentido	byte	1 (sentido descendo) ou -1 (sentido subindo)
- trem.pátio_origem	inteiro	Posição do pátio de origem do trem no vetor <code>trens[]</code>
- trem.evento_liberado	evento	Evento sinaliza que o trem foi liberado para movimentação
- trem.fora_ferrovia()	binário	Método que retorna se o trem está fora da ferrovia para entrar
Singela	classe singela	Objeto do tipo singela
- singela.sb	classe sb	Segmento de bloqueio referente à SB
Pátio	classe pátio	Objeto do tipo
- pátio.sb[]	classe sb	Array de segmento de bloqueio (SB) referente ao pátio
- próxima_singela	classe singela	A próxima singela no sentido descendo (1)
SB	classe sb	Objeto do tipo SB (segmento de bloqueio)
- sb.ocupado	binário	Se verdadeiro, a SB está ocupada por um trem ou manutenção
- sb.trem	classe trem	Trem que alocou e está mantendo ocupada a SB
Unidade	classe unidade	Representa uma unidade (produção ou demanda)
- unidade.disponível()	Binário	Método que retorna se a unidade está disponível

Tabela 1 – Objetos, atributos e métodos utilizados para análise do controle de tráfego de trens

Parâmetros e vetores	Tipo	Descrição
<code>unidade_produção</code>	classe unidade	Unidade de produção ligada ao primeiro pátio da ferrovia
<code>unidade_demanda</code>	classe unidade	Unidade de demanda ligada ao último pátio da ferrovia
<code>trens[]</code>	array de trem	Array de objetos do tipo trem no sistema
<code>pátios[]</code>	classe pátio	Array de objetos do tipo pátio na ferrovia do sistema
<code>singelas[]</code>	classe singela	Array de objetos do tipo singela na ferrovia do sistema
<code>sbs[]</code>	classe sb	Array de objetos do tipo sb na ferrovia do sistema
<code>Fila_CCO[]</code>	array de trem	Array de trem aguardando liberação CCO, em fila.
<code>evento_analise</code>	evento	Evento que sinaliza o sistema para realizar análise CCO

Tabela 2 – Parâmetros e vetores utilizados para análise do controle de tráfego de trens

O controle de tráfego de trens é realizado pelo procedimento `Ferrovia_CCO`, conforme apresentado na Figura 4, responsável pelas decisões com relação à verificação da disponibilidade de recursos para avançar para o próximo pátio, bem como a verificação de que o avanço para o próximo pátio pode atrelar ou não ao travamento do sistema. A análise de travamento é realizada por meio da função `Verificar_Trem()`, ilustrada na Figura 5, para cada trem que encontra-se aguardando liberação na fila de requisições controlada pelo processo `Ferrovia_CCO`. A função possui um conjunto de regras capaz de varrer de forma eficiente os pátios seguintes, buscando impedimentos que possam ocasionar o travamento do sistema de modo a impedi-los. Ao realizar a verificação do trem quando aos bloqueios, a função `Alocar_Recursos` é acionada para o trem e o mesmo é liberado disparando `trem.evento_liberado`.

```
PROCEDIMENTO Ferrovia_CCO(fila_CCO,evento_analise):
| FAÇA INDEFINIDAMENTE
| | evento_analise = novo_evento()
| | PARA CADA trem EM fila_CCO FAÇA
| | | SE Verificar_Trem(trem) ENTÃO
| | | | Alocar_recursos(trem)
| | | | LIBERAR trem.evento_liberado
| | AGUARDAR evento_analise
| RETORNA Analise_de_Fluxo(trem)
```

Figura 4 – Pseudocódigo da função de `Ferrovia_CCO()`

O procedimento `Ferrovia_CCO` é executado de forma assíncrona na simulação sendo controlado por um evento denominado `evento_analise`. Enquanto o `evento_analise` não for disparado por outro processo na simulação, comumente após alguma liberação de recurso via o procedimento `Ferrovia_CCO` fica aguardando. Uma vez disparado o evento, cada trem que estiver na `fila_CCO` aguardando ordem de liberação para seguir para o próximo pátio é verificado. Toda vez que um trem chega a um pátio, ele entra na `fila_CCO` e dispara o `evento_analise`, ou seja: ele requisita à `Ferrovia_CCO` permissão para avançar. Se a verificação retornar verdadeiro, a alocação de recursos até o próximo pátio é realizada e o evento de liberação do trem é disparado. A verificação do trem considera algumas condições iniciais, seguida de uma análise de fluxo realizada pela função `Verificar_Trem(trem)`. Uma vez que as condições de impedimento são falsas é necessário analisar o fluxo do trem com base na função `Analise_de_Fluxo`, na Figura 6.

```

FUNÇÃO Verificar_Trem(pátios[],unidade_demanda,unidade_produção,trem):
| SE(trem.sentido == 1 E trem.pátio_origem == contar(pátios)) OU
|   (trem.sentido == -1 E trem.pátio_origem == 0) ENTÃO
| | | SE (trem.sentido == 1 E NÃO unidade_demanda.disponível()) OU
| | |   (trem.sentido == -1 E NÃO unidade_produção.disponível()) ENTÃO
| | | | RETORNA falso
| | orig_pátio = pátios[trem.pátio_origem] : pátio
| | dest_pátio = pátios[trem.pátio_origem+trem.sentido] : pátio
| SE dest_pátio.sb[0].ocupado E dest_pátio.sb[1].ocupado ENTÃO
| | RETORNA falso
| SENÃO SE NÃO trem.fora_ferrovia() ENTÃO
| | | SE(trem.sentido == 1 E ori_pátio.próxima_singela.sb.ocupado) OU
| | | | (trem.sentido == -1 E dest_pátio.próxima_singela.sb.ocupado) ENTÃO
| | | | RETORNA falso
| | RETORNA Analise_de_Fluxo(trem)

```

Figura 5 – Pseudocódigo da função Verificar_Trem(trem)

```

FUNÇÃO Analise_de_Fluxo(pátios,trem): binário
X = 1 : inteiro
aux = trem.pátio_origem+trem.sentido*2 : inteiro
ENQUANTO X >= 1 FAÇA
  pátio: auxpt = pátios[aux]
  SE auxpt.sb[0].ocupado E auxpt.sb[1].ocupado ENTÃO
    SE (auxpt.sb[0].trem é trem E auxpt.trem.sentido != trem.sentido) E
      (auxpt.sb[1].trem é trem E auxpt.trem.sentido != trem.sentido ENTÃO
      RETORNA falso
  SENÃO SE (auxpt.sb[0].trem é trem E auxpt.sb[1].trem é trem) E
    (auxpt.sb[0].trem.sentido != auxpt.sb[1].trem.sentido) ENTÃO
    X = X + 1
  SENÃO SE (auxpt.sb[0].trem é trem E auxpt.trem.sentido == trem.sentido) E
    (auxpt.sb[1].trem é trem E auxpt.trem.sentido == trem.sentido) ENTÃO
    X = X + 2
  SENÃO SE ((auxpt.sb[0].trem é trem E auxpt.trem.sentido != trem.sentido) OU
    (auxpt.sb[1].trem é trem E auxpt.trem.sentido != trem.sentido))
    E NÃO (auxpt.sb[0].ocupado E auxpt.sb[1].ocupado) ENTÃO
    X = X - 1
  SENÃO SE ((auxpt.sb[0].trem é trem E auxpt.trem.sentido == trem.sentido) OU
    (auxpt.sb[1].trem é trem E auxpt.trem.sentido == trem.sentido))
    E NÃO (auxpt.sb[0].ocupado E auxpt.sb[1].ocupado) ENTÃO
    X = X + 1
  FIM SE
  SENÃO SE (auxpt.sb[0].ocupado OU auxpt.sb[1].ocupado) E
  NÃO (auxpt.sb[0].ocupado E auxpt.sb[1].ocupado) ENTÃO
  SE (auxpt.sb[0].trem é trem E auxpt.trem.sentido == trem.sentido) ENTÃO
    X = X - 1
  SENÃO
    X = X + 1
  FIM SE
  SENÃO
    X = X - 1
  FIM SE
  SE X == 0 ENTÃO RETORNA verdadeiro
  aux = aux + trem.sentido
  SE aux >= contar(pátios) OU aux == -1 ENTÃO RETORNA falso
  RETORNA falso

```

Figura 6 – Pseudocódigo da função Análise_de_Fluxo(trem)

A função Verifica_Trem, como ilustrado na Figura 5, busca retornar se o trem possui as condições necessárias para seguir até o próximo pátio, sem causar travamentos futuros e ao mesmo tempo garantindo a ocupação adequada dos recursos da via. A lógica presente nesse algoritmo parte do pressuposto que todo trem precisa ter uma garantia de espaço mais à frente, antes de avançar ao pátio seguinte. Caso a razão entre espaços possíveis à frente e trens demandantes desses espaços seja inferior à um, não é possível avançar o trem em análise. Isso é facilmente resolvido pela variável X. Quando, ao final da análise, $X \geq 1$, não há espaço suficiente para todos os trens no mesmo sentido de análise.

Desse modo, a análise é iniciada atribuindo $X = 1$, definindo inicialmente 'aux' como o índice do próximo pátio do trem em análise. Enquanto o $X \geq 1$, diversas condições irão decrescer e crescer o valor de X , ou seja, buscando ou encontrando espaços para um ou mais trens no mesmo sentido ao longo da rota futura do trem. Toda a vez que é identificado um pátio com somente um trem no mesmo sentido do trem em análise, o valor de X é acrescido de 1. Caso o trem esteja no sentido contrário, X é decrescido de 1. Quando no mesmo pátio há dois trens no mesmo sentido, o valor é acrescido de 2. E quando há dois trens em cruzamento, é acrescido de 1, considerando, assim, o pior caso. Na situação em que é identificado um pátio com dois trens em sentido oposto ao trem em análise, a função é interrompida retornando falso, ou seja, não é possível liberar o trem por conta desse impedimento já existente ao longo da rota. Caso a SB esteja em manutenção preventiva, ou seja, ocupada, mas sem nenhum trem alocado, o valor de X não sofre nenhuma alteração. E, caso não haja trem nem manutenção no pátio, valor de X decresce 2. A final da análise de cada pátio, se $X < 0$, a função retorna verdadeiro, ou seja, o trem será liberado. Esse procedimento é repedido após varrer todos os pátios. Para tanto, aux é acrescido ou decrescido dependendo do sentido do trem.

6 | EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

O objetivo principal dessa experimentação é demonstrar a aplicabilidade dos algoritmos propostos no controle de tráfego de trens dentro de um sistema de simulação de eventos discretos ou agentes. E para experimentar o algoritmo proposto nesse artigo foi realizada a implementação de modelo de simulação em Python, utilizando a biblioteca de eventos discretos Simpy, disponível gratuitamente em repositório público. Essa biblioteca permite a modelagem computacional de modelos de simulação de eventos discretos baseado em processo. Isso permite a adoção de algumas abordagens de simulação baseada em agentes, dada a comunicação entre processos durante a simulação. Cada processo pode ser executado para cada entidade, caracterizando, assim, inteligência da entidade no controle de seu fluxo decisório.

Para os experimentos computacionais foram considerados cenários de 4 e 15 pátios de cruzamento. Cada pátio de cruzamento contém dois segmentos de bloqueio entre SBs. Cada SB está associado a um recurso com capacidade unitária. O pátio P00 representa a unidade de produção e o pátio PNN representa a unidade de demanda nas representações gráficas.

Inicialmente foi realizado experimentos determinísticos para entender alguns comportamentos gerais do sistema. Os parâmetros considerados estão apresentados na Tabela 3. Não foram consideradas variações probabilísticas. Também, nesse momento, não foram consideradas manutenções corretivas ou preventivas, além de não considerar nesses cenários iniciais, o uso da ferrovia por outros trens que não fazem parte do sistema. Desse modo, o modelo de simulação irá apresentar um comportamento cíclico e determinístico.

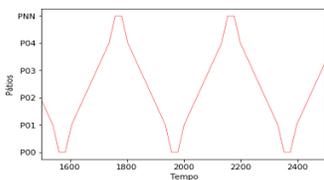
Parâmetro	Unidade	Valor
Tempo de trajeto por segmento de bloqueio	Minuto	22
Tempo de entrada na unidade de produção	Minuto	30
Tempo de atendimento na unidade de produção	Minuto	60
Capacidade da recepção na produção	Trem	2
Capacidade de atendimento na produção	Trem	1
Tempo de entrada na unidade de demanda	Minuto	30
Tempo de atendimento na unidade de demanda	Minuto	60
Capacidade da unidade de demanda	Trem	2
Capacidade de atendimento na produção	Trem	1

Tabela 3 – Parâmetros utilizados para os experimentos determinísticos com 4 pátios

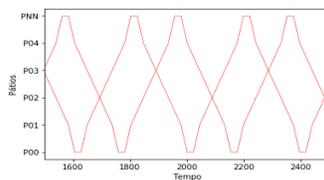
Para análise do comportamento e da utilização da capacidade do sistema, foi analisado o número médio de ciclos e o tempo médio de ciclos dos trens. A simulação foi executada por 65 horas em uma única replicação, de modo a verificar o comportamento. Os cenários foram nomeados como DET_n, onde n representa o número de trens no sistema. Os resultados das simulações para esses diferentes cenários no sistema estão ilustrados na Figura 5, compreendendo o período de 1000 a 3000 minutos de simulação.

Os gráficos de trens ilustrados na Figura 7 demonstram que a utilização da ferrovia pelos trens que estão no sistema tem apresentado um comportamento esperado, à medida que há aumento do número de trens no sistema. A dinâmica ferroviária ocorre, sendo verificado em todos os cenários simulados o não travamentos no sistema.

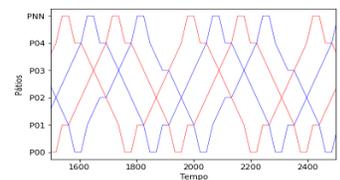
E conforme ilustrado na Tabela 4, o número de ciclos por trem diminui do aumento do tempo médio por ciclo, ocasionado pelo aumento das paradas por conta da dinâmica ferroviária e da capacidade limitada de atendimento nas unidades de produção e demanda. É possível observar que o melhor cenário dos que foram apresentados é o DET_6, que contém 6 trens, realizando 14,4 atendimentos da unidade de demanda. O cenário com 8 ou 10 trens apresenta uma queda na frequência em vista ao aumento potencial no tempo médio por ciclo.



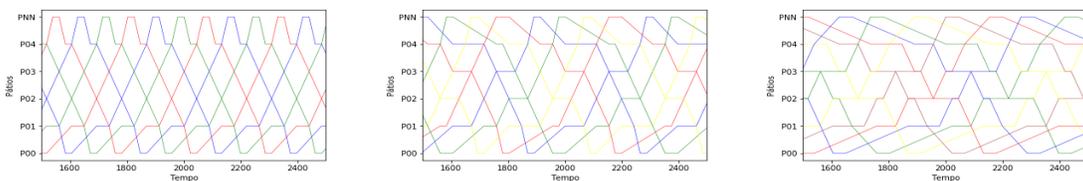
(a) DET_1 (um trem)



(b) DET_2 (dois trens)



(c) DET_4 (quatro trens)



(d) DET_6 (seis trens)

(e) DET_8 (oito trens)

(f) DET_10 (dez trens)

Figura 7 – Gráfico de trens para cenários determinísticos variando número de trens

Após verificar a utilização do algoritmo para cenários pequenos, consideremos dois cenários com 16 trens circulando em 15 pátios. Foi acrescida a capacidade da recepção na unidade de produção e de demanda de 2 para 5 trens no subsistema. Os demais parâmetros são mantidos.

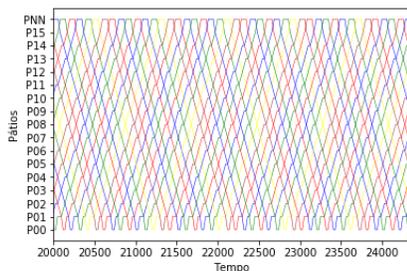
No primeiro cenário DET_A16, ilustrado na Figura 8(a) não foram consideradas manutenções preventivas, corretivas ou variabilidade do tempo de trajeto, sendo um cenário determinístico. No segundo cenário PROB_A16, ilustrado na Figura 8(b), foram consideradas manutenções preventivas previamente programadas, manutenções corretivas com probabilidade de 0,015 de falha por evento e variação do tempo de trajeto em 20%. É observado que o modelo se comportou adequadamente às duas situações, não ocasionando travamentos no sistema. No cenário probabilístico PROB_A16 ocorreram 10,1 chegadas por dia enquanto que no cenário determinístico DET_A16 ocorreram 13,8 chegadas por dia.

Cenário	Número de ciclos (ciclo/trem)	Tempo médio por ciclo (h/ciclo/trem)	Frequência na unidade de demanda (trem/dia)
DET_1	8.00	6,6	3,3 trens/dia
DET_2	8.50	6,6	6,6 trens/dia
DET_4	7.50	7,3	11,8 trens/dia
DET_6	6.17	8,8	14,4 trens/dia
DET_8	3.75	13,2	12,6 trens/dia
DET_10	1.90	22,1	8,7 trens/dia

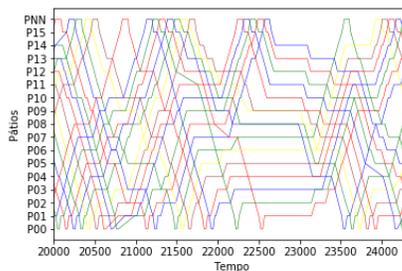
Tabela 4 – Gráficos de trens para os testes iniciais de simulação determinística

Adicionando trens de grade aos cenários DET_A16 e PROB_A16, sendo que esses trens ocupam temporariamente a ferrovia originados de e destinados à pátios intermediários entre a unidade de produção e de demanda, observamos que o algoritmo se comporta de maneira satisfatória, conforme cenários DET_B16 e PROB_B16, ilustrado nas Figuras 8(c) e 8(d), respectivamente. Com a interferência do trem de grade no sistema, o

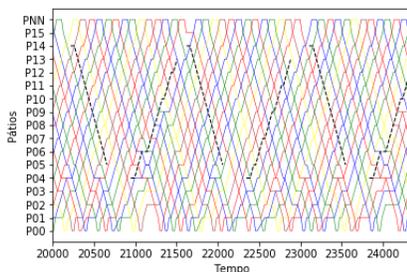
cenário probabilístico passa a realizar 9,2 chegadas/dia, uma queda de 0,9 chegada/dia em comparação ao cenário sem trem de grade. Se compararmos os cenários determinísticos, com trem de grade são 12,9 chegadas/dia, queda de 0,9 chegada/dia.



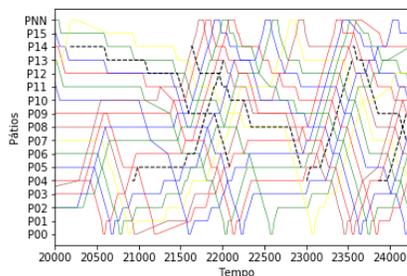
(a) DET_A16 – Determinístico sem trem de grade



(b) PROB_A16 – Probabilístico sem trem de grade



DET_B16 – Determinístico com trem de grade



(d) PROB_B16 – Probabilístico com trem de grade

Figura 8 – Comparando determinístico vs probabilístico, com e sem trens de grade

Considerando testes de desempenho computacionais, foram replicações de um ano, ou seja, 525600 minutos, para 15 e 30 pátios, variando número de trens. Foram consideradas manutenções preventivas, probabilidade de eventos de corretivas de 0,015 e variação do tempo de trajeto e operações em 20%. Foi considerado trem de grade descendo e subindo, num intervalo entre saídas de 12 horas. Em média, o tempo de execução em todos os cenários foi 30 segundos por replicação, chegando a menos de 60 segundos em cenários mais restritivos, por exemplo, com 30 pátios e 60 trens.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O algoritmo de controle de tráfego de trens proposto nessa pesquisa permitiu, de forma eficiente, resolver o problema de travamento de trens do modelo de simulação para

tráfego de trens. Foram incorporadas condições mais realistas, como manutenção corretiva, preventiva e variabilidade no tempo de trajeto, bem como interferência de trens de grade.

Com base nos testes realizados, é observado que o algoritmo permite uma utilização da ferrovia pelos trens nela envolvidos, de modo que haja um comportamento próximo à realidade, sem travamento, à medida que há aumento do número de trens no sistema. A frequência de chegada na unidade de demanda e o tempo médio de ciclo entre as unidades, apresenta valores condizentes, demonstrando válida a análise de simuladores com esse algoritmo para decisões de capacidade. O algoritmo apresentou ótimo desempenho computacional.

Assim, os simuladores de tráfego de trens, assim como outros simuladores de sistemas reais, devem respeitar as regras operacionais simplificadas sem erros conceituais e ou de lógica que provoquem travamento ou que reportem resultados não válidos quanto aos observados na prática. A validade do modelo somente será considerada quando essas condições forem satisfeitas. Estando válido o modelo, o mesmo é considerado operacional e permitirá estudos de capacidade bem como outros estudos relacionados.

Em continuidade a esta pesquisa, será melhorado o algoritmo proposto de modo a aplicar o mesmo em sistemas de simulação com novas decisões, como de ultrapassagem, dimensões de pátios, vias duplas e ramificações da ferrovia com múltiplas unidades de produção e demanda.

REFERÊNCIAS

BANKS, Jerry; CARSON II, JOHN S.; NELSON, Barry L.; NICOL, M. David. *Discrete-Event System Simulation*, 5ª ed., New Jersey, Perason Education, 2010.

BORSHCHEV, Andrei; FILIPPOV, Alexei. From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. In: *The 22nd International Conference of the System Dynamics Society*, 25-29 jul., 2004, Oxford.

CAPPART, Q. *Verification of Railway Interlocking Systems and Optimisation of Railway Traffic*. 2017. 146f. Tese (Phd in Applied Science in Engineering) - Université catholique de Louvain.

CHAN, Wai Kin Victor Chan; SON, Young Jun.; MACAL, Charles M. Agent-based simulation tutorial - Simulation of emergent behavior and differences between agent-based simulation and discrete-event simulation. In: *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 5-8 dez., 2010, Baltimore.

CORMAN, Francesco. *Real-time Railway Traffic Management: dispatching in complex, large and busy railway networks*. 2010. 212f. Tese (Phd in Management and Automation Engineer) - Technische Universiteit Delft.

CORMAN, Francesco; D'Ariano, Andrea; Hansen, Ingo; Pacciarelli, Dario. Optimal multi-class rescheduling of railway traffic. *Journal of Rail Transport Planning and Management*, v. 1, n. 1, p. 14-24, nov. 2011.

DESSOUKY, Maged M.; LEACHMAN, Robert. C. Simulation modeling methodology for analyzing large complex rail networks. *Simulation*, fev. 1995.

DORFMAN, M.; MEDANIC, J. Scheduling trains on a railway network using a discrete event model of railway traffic. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 38, n. 1, p. 81–98, 1 jan. 2004.

FANG, Wei; YANG, Shengxiang; YAO, Xin. A Survey on Problem Models and Solution Approaches to Rescheduling in Railway Networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, v. 16, n. 6, dez. 2015. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7160720>>. Acesso em: 06 abril 2019

FERBER, JACQUES. *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*. Revisado por Juliette Rouchier. Addison-Wesley Professional. Ed. 1, 1999, 528 p.

FU, Lunce; DESSOUKY, Maged. Models and Algorithms for Dynamic Headway Control. *Computers & Industrial Engineering*, v. 103, p. 271-281.

FURIAN, Nikolaus; O’SULLIVAN, Justin; WALKER, G. Cameron; VÖSSNER, Siegfried; NEUBACHER, Dietmar. A conceptual modeling framework for discrete event simulation using hierarchical control structures. *Simulation Modelling Practice and Theory*, v. 56, Pages 82-96, 2015.

GOVERDE, Rob. M. P. A delay propagation algorithm for large-scale railway traffic networks. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, v. 18, n. 3, p. 269-287, jun. 2010.

ROBINSON, Stewart. *Simulation: The Practice of Model Development and Use*, 2nd edition. [S.l.: s.n], 2014.

Şahin, İsmail. Railway traffic control and train scheduling based on inter-train conflict management. *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 33, issue 7, p. 511-534, 1999.

W. Farrell, Literature review and bibliography of simulation optimization, *Proceedings of Winter Simulation Conference*, pp. 117-124, 1977.

WOOLDRIDGE, MICHAEL. *An Introduction to Multi-Agent Systems*. John Wiley & Sons. Ed.1, 2002, 348 p.

XU, Xiaoming; LI, Keping; LU, Xiaoshan. Simultaneous locomotive assignment and train scheduling on a single-track railway line: A simulation-based optimization approach. *Computers & Industrial Engineering*, v. 127, p. 1336–1351, jan. 2019.

XU, Xiaoming; LI, Keping; YANG, Lixing; GAO, Ziyou. An efficient train scheduling algorithm on a single-track railway system. *Journal of Scheduling*, v. 22, n. 1, p. 85-105, fev. 2018.

OTIMIZAÇÃO NÃO LINEAR E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: FERRAMENTAS NA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 05/06/2020

Simone Aparecida Rocha

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/8583498795564823>

Thiago Gomes de Mattos

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/9832733706852720>

Rodrigo Tomás Nogueira Cardoso

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/5174842920583671>

Eduardo Gonzaga da Silveira

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/2888501805559990>

RESUMO: Neste texto apresenta-se a aplicação de técnicas de otimização não linear Quasi-Newton, Elipsoidal e Genético Real Polarizado ao problema de localização de faltas em linhas de transmissão através da minimização de uma função mono-objetivo, definida em termos dos parâmetros da linha e do tipo de falta. A classificação da falta é realizada por uma rede neural artificial, a fim de determinar o tipo de curto-circuito. São utilizados dados simulados, gerados em um programa de transitórios eletromagnéticos e algumas faltas reais, ocorridas no sistema elétrico brasileiro. Como resultado, obtém-se a distância até o curto-circuito e a resistência de falta com erros médios de localização inferiores a 1% do comprimento da linha.

PALAVRAS CHAVE. Otimização Não Linear, Rede Neurais Artificiais, Localização de Faltas em Linhas de Transmissão.

NONLINEAR OPTIMIZATION AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS: TOOLS IN FAULT LOCATION IN TRANSMISSION LINES

ABSTRACT: This text presents the application of nonlinear optimization techniques Quasi-Newton, Ellipsoidal and Real Genetic Biased to the fault localization problem in transmission lines through minimization of a monoobjective function, defined as line parameters and fault type. The classification of fault is done by an Artificial Neural Network, in order to determinate the type of short circuit. Simulated data created in a electromagnetic transients program and some real faults, occurred in Brazilian Electrical System, are used. As result the distance until

short circuit and fault resistance with medium errors of locations lower than 1% of line length are get.

KEYWORDS. Nonlinear Optimization, Artificial Neural Network, Fault Localization in Transmission Lines.

1 | INTRODUÇÃO

As linhas de transmissão aéreas constituem importantes componentes de um Sistema Elétrico de Potência, destinando-se ao transporte de energia elétrica desde a sua geração até as redes de distribuição. Na ocorrência de um curto-circuito (falha) em uma linha de transmissão, o relé de proteção realiza a detecção, identificação e sinalização do evento, comandando os disjuntores de forma a retirar de serviço a linha em falta. Após sua atuação, são feitas tentativas de religamento automático visando colocar a linha novamente em funcionamento. Duas situações podem ocorrer: há o sucesso e a linha é reintegrada ao sistema ou as tentativas falham e a linha necessita ser desligada, fazendo-se necessária a execução dos trabalhos de reparo, no menor tempo possível e com níveis de confiabilidade adequados.

O presente estudo tem como objetivo aplicar técnicas de otimização não linear mono-objetivo ao problema de localização de faltas em linhas de transmissão, a partir de dados de tensão e corrente dos dois terminais da rede. Especificamente, a partir das funções objetivo descritivas do processo elaboradas por Silveira et al. (2017), visando-se minimizar as fontes de erro ao se fornecer o local da falta em relação a um dos terminais da linha, foram implementados programas computacionais contendo rotinas e técnicas matemáticas que possibilitam a utilização dos métodos Quasi-Newton de direção de busca e de um método de controle de populações fundamentado em Algoritmos Genéticos (AGs). Os resultados alcançados são comparados com os obtidos pelo Algoritmo Elipsoidal utilizado por Silveira et al. (2017).

2 | O SISTEMA ELÉTRICO

Considere um sistema elétrico representado pela na 1, modelado por uma linha de transmissão e fontes equivalentes no terminal emissor (SE-1) e no terminal receptor (SE-2). A amostragem das tensões e das correntes trifásicas nos terminais é obtida por um registrador digital de perturbações (RDP) ou por um relé de proteção, junto aos transformadores de potencial (TP) e corrente (TC).

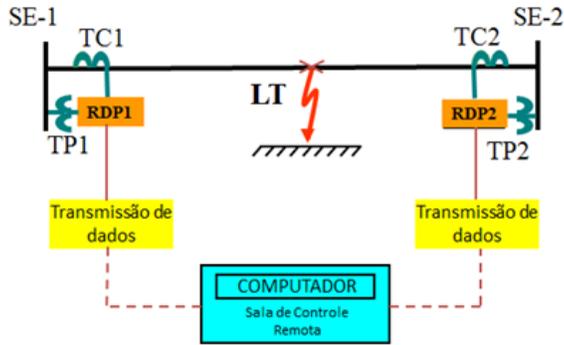


Figura 1 - Esquema de obtenção de dados.

Em cenários reais, ocorrido um evento de falta, os dados são transmitidos à sala de controle por um link de comunicação para que, remotamente, os engenheiros de proteção determinem o local do defeito e repassem às equipes de manutenção orientações para o restabelecimento da linha de transmissão.

Através do programa *Alternative Transients Program* (ATP) é possível realizar a simulação de casos de curto-circuito, conforme exemplificado na Figura 2. Os índices 1 e 2 são associados respectivamente às subestações 1 e 2 dos terminais da linha de transmissão, SE à fonte e Z_{eq} à impedância equivalente, 52 ao código representativo de um disjuntor, Line RL à impedância do terminal ao local do curto-circuito e R_{FALTA} à resistência de falta no local de curto-circuito.

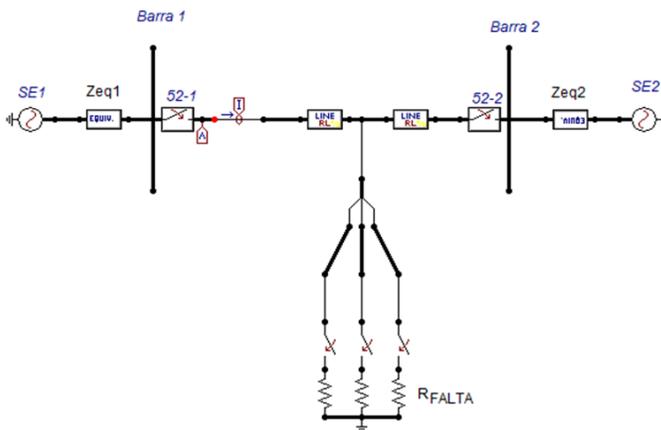


Figura 2 - Circuito do ATP para simulação de curto-circuito.

Os parâmetros de uma linha de transmissão real de 74,4 km e 345 kV e os dados das fontes equivalentes terminais, utilizada por Silveira et al. (2017), foram inseridos no ATP para a composição do banco de dados simulados e encontram-se listados na Tabela 1.

Elemento	Sequência Positiva		Sequência Zero	
	$r_1 (\Omega)$	$x_1 (\Omega)$	$r_0 (\Omega)$	$x_0 (\Omega)$
Linha	2,69	27,97	26,94	106,58
Fonte Local	4,0007	34,110	4,0692	33,603
Fonte Remota	6,3318	53,845	2,7307	39,363

Tabela 1 - Parâmetros da linha e fontes equivalentes para as faltas simuladas.

3 I ETAPAS DO PROCESSO

A ocorrência de uma falta em uma linha de transmissão representa um fenômeno de difícil previsão, caracterizado pelo instante em que ocorreu, a classificação do tipo de falta, a indicação do local onde ocorreu e a resistência de falta.

3.1 O pré-processamento de dados

Após a definição do sistema elétrico a ser utilizado e a simulação de casos de curto-circuito, prossegue-se com a leitura dos dados de entrada das tensões e correntes dos terminais da linha. Em seguida, para a separação do banco de dados correspondente aos períodos pré-falta e de falta, ocorre a detecção do instante da falta, passando-se ao pré-condicionamento dos sinais de tensão e corrente, para retirada das frequências mais elevadas, através de uma filtragem digital passa-baixa. Após esta etapa é feita uma interpolação dos dados de entrada, possibilitando a adequação da frequência de amostragem ao valor desejado de 16 pontos por ciclo da frequência fundamental (60 Hz no caso do Brasil). Para estimação dos fasores associados à frequência fundamental, foi utilizado o método de mínimos quadrados, como descrito por Phadke e Thorp (1988).

3.2 Detecção da falta

Na localização de faltas é importante que se detecte o instante no qual a falta tem início nas ondas de tensão e corrente, obtendo-se dois conjuntos de dados bem definidos dos períodos pré-falta e de falta. Diferentes técnicas podem ser aplicadas para a detecção. Autores como Saravanababu et al. (2013) e Costa (2014), utilizam a Transformada Wavelet e o Teorema de Parseval, conforme Figura 3.

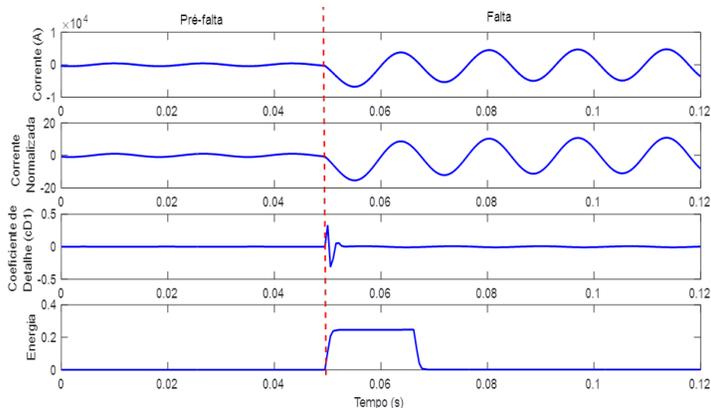


Figura 3 - Detecção do instante de falta.

4 | CLASSIFICAÇÃO DA FALTA

Esta etapa tem a função de determinar o tipo de curto-circuito ocorrido e as fases envolvidas. Na Figura 4 detalham-se os possíveis tipos de faltas investigadas, onde o local da falta (F), a distância (d) do terminal (S) e a resistência no local da falta (R_f) são apresentadas.

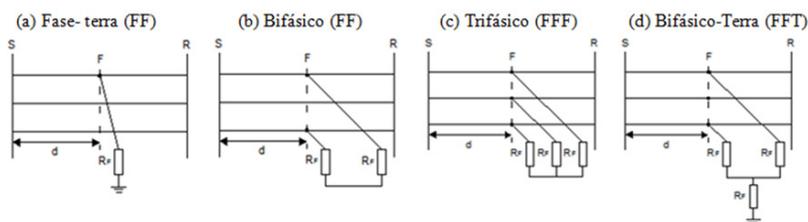


Figura 4 - Modelos de curto-circuito.

Para a classificação das faltas simuladas, aplica-se uma RNA treinada com valores das variáveis de um dos terminais da linha de transmissão. Dentre as diferentes topologias possíveis para a estruturação de uma RNA, optou-se pela rede *Multilayer Perceptron* (MLP) com aprendizado supervisionado *Backpropagation* e algoritmo de Treinamento *Levenberg-Marquardt*. As características da rede foram determinadas de forma experimental. A função de ativação escolhida foi a tangente-sigmoide. Conforme indicação da Figura 5, a RNA foi implementada com 2 camadas ocultas de 16 e 12 neurônios e a saída de 4 neurônios. As médias dos módulos dos fasores das tensões V_A , V_B , V_C e das correntes I_A , I_B e I_C são empregadas como banco de dados de entrada nas etapas de classificação e localização da falta.

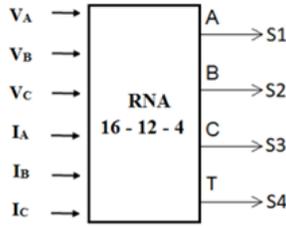


Figura 5 - Estrutura da RNA para classificação de faltas.

O processo de obtenção dos valores de tensão e corrente para uma das fases é exemplificado na Figura 6.

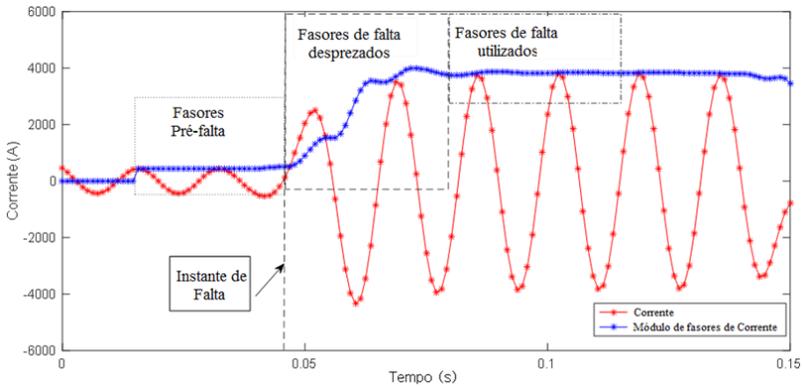


Figura 6 - Processo de seleção dos fasores.

Combinando recursos do ATP e do MatLab, foram gerados 504 cenários de falta para o treinamento e outros 110 casos para a validação da rede, conforme Tabela 2.

		Caracterização dos Casos	Número de Casos
Treinamento	Local de Falta (km)	FT - FFT - FF - FFF A cada 10% da linha	FT e FFT $2 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 8 = 432$
	Resistência de Falta (Ω)	FT - FFT: 0 - 7 - 14 - 21 - 28 - 35 - 42 - 49 FF - FFT: 0 - 5	FF e FFF $4 \cdot 9 \cdot 2 = 72$

Validação	Local de Falta (km)	FT - FFT - FF - FFF 11 - 26 - 40 - 59 - 68	FT e FFT 2·3·5·3 = 90
	Resistência de Falta (Ω)	FT - FFT: 10 - 30 - 45 FF - FFF: 3	FF: 3·5·1 = 15 FFF: 1·5·1 = 5
Número de cenários			Treinamento: 504 Validação: 110

Tabela 2 - Variáveis de composição dos cenários de falta.

Para a validação da etapa de classificação, convencionou-se que as saídas (S) observadas no intervalo de 0 a 0,5 indicaram uma situação normal e os valores entre 0,5 a 1,0 uma situação de falta. Na Tabela 3 são apresentadas, para alguns casos simulados e 2 casos reais, as respostas esperadas e as saídas obtidas na rede neural em função do tipo de falta na etapa de validação. Houve acerto de todos os eventos, o que demonstra a capacidade de generalização da metodologia desenvolvida.

Falta S1		Previsão				Saída			
		S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
Simuladas	AT	1	0	0	1	1,0000	0,0001	0,0000	1,0020
	AB	1	1	0	0	1,0000	1,0000	0,0000	0,0179
	ABT	1	1	0	1	1,0000	1,0000	0,0000	0,9990
	ABC	1	1	1	0	1,0000	1,0000	1,0000	-0,0001
Reais	AT	1	0	0	1	1,0000	0,0000	0,0000	1,0001
	BT	0	1	0	1	0,0003	0,9999	0,0000	0,9986

Tabela 3 - Saídas da rede neural em função do tipo de falta.

A localização de faltas e determinação da resistência de falta ocorrem após a etapa de classificação, podendo ser obtidas a partir da minimização de uma das funções objetivo apresentadas por Silveira et al. (2017).

5 | O PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO

Seja $x \in \mathbb{R}^n$, $n \in \mathbb{N}$, um vetor com n elementos reais. Um problema de otimização consiste em minimizar a função objetivo $f: D_f \subset \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ sobre todos os vetores x pertencentes à região factível D_f . As diferentes técnicas de minimização procuram identificar uma solução particular $x^* \in D_f \subset \mathbb{R}^n$ tal que para todo $x \in D_f$, $f(x^*) \leq f(x)$. Neste contexto, o problema de localização de faltas relaciona-se com a solução do problema de otimização mono-objetivo da função $f = f(x, R_i)$, expresso por $\min f(x, R_i)$, sendo x o local da falta e R_i a resistência no local do curto-circuito. Neste trabalho são apresentados métodos

baseados na direção de busca, na exclusão de regiões e em dinâmicas populacionais.

5.3 Métodos de Direção de Busca

Os métodos de direção de busca procuram minimizar uma função objetivo não linear a partir dos valores da função e de suas derivadas de primeira e/ou segunda ordem. A cada iteração é necessário avaliar o valor do gradiente e/ou da hessiana da função no ponto. Nestes métodos, o cálculo de derivadas pode ser realizado numericamente por diferenças finitas e a forma de aproximação pode ser mantida fixa ou pode ser melhorada durante o processo, com a utilização de informações coletadas em iterações anteriores.

Os métodos Quasi-Newton geram, para problemas de otimização não-linear, uma aproximação da derivada segunda da função objetivo, nos casos sem restrições, e da derivada segunda do lagrangeano, nos casos com restrições. Podem ser utilizados quando a matriz hessiana da função objetivo não está disponível ou seu cálculo é proibitivo. Por estes métodos procura-se estimar recursivamente o cálculo da inversa da hessiana da função objetivo, a partir de informações de primeira ordem.

Neste trabalho, para aproximação da hessiana da função objetivo, utilizou-se entre os métodos descritos por Luenberger (2008), a combinação do método de correção do posto da matriz hessiana proposto por Davidson (CDFP) com o método de correção desenvolvido por Broyden - Fletcher - Goldfarb - Shanno (CBFGS), indicada pelas Equações 01 a 04. Nelas, o vetor representa a diferença entre o vetor gradiente da função objetivo na posição atual e na posição anterior; o vetor v representa a diferença entre a posição atual e a anterior, o coeficiente γ representa o peso de CDFP e de CBFGS e H representa a aproximação para a hessiana da função objetivo.

$$CDFP = \frac{v * v'}{v' * r} - \frac{H * r * r' * H}{r' * H * r} \quad (01)$$

$$CBFGS = \left(\frac{r' * v + r' * H * r}{r' * v} \right) * \left(\frac{v * v'}{v' * r} \right) - \frac{(v * r' * H + H * r * v')}{(r' * v)} \quad (02)$$

$$Cbroyden = \gamma * CDFP + (1 - \gamma) * CBFGS \quad (03)$$

$$H = H + Cbroyden \quad (04)$$

5.4 Método de Exclusão de Regiões

Esses métodos utilizam técnicas de exclusão de regiões como estratégia para a solução de problemas de otimização não linear. A ideia intuitiva do algoritmo do método Elipsoidal, como utilizado por Silveira et al. (2017), consiste em cercar a solução ótima com elipsoides. A partir de um elipsoide inicial, que contenha o mínimo a ser alcançado, são

feitos cortes, gerando sempre elipsoides menores, até que, de acordo com o critério de parada estabelecido, seja obtido o elipsoide de menor volume sobre o ponto ótimo, dado pelo centro deste elipsoide.

O algoritmo Elipsoidal é descrito por Bland (1981). As fórmulas recursivas indicadas nas Equações 05, 06 e 07 geram uma sequência de pontos x_k , que representam o centro de cada elipsoide gerado. A dimensão do ponto inicial é representada por n , Q é refere-se à matriz da elipse que cerca, a cada iteração, o ponto ótimo a ser obtido e o vetor g_k indica é o subgradiente da restrição mais violada. No caso de x_k estar na região factível, g_k o subgradiente da função objetivo $f(x_k)$ naquele ponto.

$$x_{k+1} = x_k - \beta_1 \frac{Q_k g_k}{(g_k^T Q_k g_k)^{1/2}} \quad (05)$$

$$Q_{k+1} = \beta_2 \left(Q_k - \frac{\beta_3 (Q_k g_k)(Q_k g_k)^T}{g_k^T Q_k g_k} \right) \quad (06)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{n+1}, \quad \beta_2 = \frac{n^2}{n^2-1}, \quad \beta_3 = \frac{2}{n+1} \quad (07)$$

5.5 Método de Populações

São métodos computacionais inspirados na evolução natural das espécies. No formato básico consistem em criar uma população que é um conjunto de pontos (indivíduos) pertencentes ao espaço de parâmetros, uma função para avaliação da função objetivo nesses pontos e outra função que determina a transição entre uma população atual e a futura. A evolução da população ao longo das iterações conduz o conjunto de indivíduos para uma região próxima do ponto ótimo.

No presente estudo, optou-se pela utilização do AGRP conforme descrito por Takahashi (2003), onde cada parâmetro de otimização é representado por uma variável real e o conjunto de parâmetros é armazenado em um vetor que representa um indivíduo. Para cada coordenada do vetor de parâmetros existe uma faixa admissível, dentro da qual estarão localizados os respectivos componentes de todos os indivíduos. No início do algoritmo geram-se aleatoriamente um conjunto de indivíduos. Na sequência, para a geração da população sobrevivente são realizadas as operações de cruzamento, mutação, avaliação e seleção/elitização. A avaliação de cada indivíduo resulta num valor denominado fitness ou adequabilidade que, neste trabalho, é dado pelo menor valor da função objetivo. Quanto melhor o fitness de um indivíduo, maior a chance dele permanecer na população sobrevivente. O algoritmo é finalizado ao atingir a condição de parada estabelecida.

5.6 Métodos de Otimização Não Linear para a Localização da Falta e Determinação da Resistência de Falta

A localização de faltas, objetivo central deste estudo, ocorre após as etapas de detecção e de classificação e foi realizada utilizando-se três técnicas de otimização mono-objetivo. Com a indicação do tipo de falta ocorrido, seleciona-se uma das funções objetivo de Silveira et al. (2017) para a aplicação de um método de minimização. Como resultado obtém-se a distância até o ponto de ocorrência do curto-circuito e a resistência de falta. As funções objetivo $f(x, R_f)$ propostas possuem como variáveis o local da falta e a resistência de falta, têm como parâmetros as correntes e tensões dos terminais da linha de transmissão e dependem dos diversos tipos de faltas existentes.

Como exemplo para a obtenção de uma das funções objetivo em uma linha de transmissão trifásica, considera-se uma falta AT, representada esquematicamente no diagrama da Figura 7. Os subscritos 0, 1 e 2 indicam, respectivamente, as grandezas de sequência zero, positiva e negativa; Z a impedância longitudinal unitária em Ω/km da linha; x a distância do terminal S ao local de falta; ℓ a extensão total da linha de transmissão; I_S , I_R , V_S e V_R as respectivas correntes e tensões nos terminais S e R.

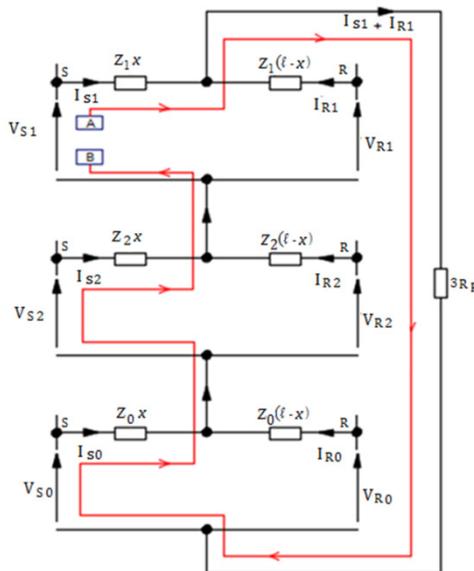


Figura 7 - Circuito para uma falta AT.

Aplicando-se a lei de Kirchhoff para as tensões do ponto A até o ponto B tem-se as Equações de 8 a 15.

$$V_{S0} + V_{S1} + V_{S2} - xZ_1(I_{S1} + I_{S2}) - xZ_0I_{S0} - 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) = 0 \quad (08)$$

$$V_{S0} + V_{S1} + V_{S2} - xZ_1(I_{S0} + I_{S1} + I_{S2}) - xI_{S0}(Z_0 - Z_1) - 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) = 0 \quad (09)$$

$$V_{S0} + V_{S1} + V_{S2} = V_S \quad (10)$$

$$I_{S0} + I_{S1} + I_{S2} = I_S \quad (11)$$

$$V_S - xZ_1 \left(I_S + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_{S0} \right) - 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) = 0 \quad (12)$$

Como V_s^M e V_s^C representam as tensões medida e calculada em S

$$V_s^M - V_s^C = 0 \quad (13)$$

$$V_s^C = xZ_1 \left(I_S + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_{S0} \right) + 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) \quad (14)$$

Tomando-se o quadrado do módulo desta última equação:

$$F(x, R_F) = Re \left(\left(V_S - xZ_1 \left(I_S + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_{S0} \right) - 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) \right) \right)^2 + Im \left(\left(V_S - xZ_1 \left(I_S + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} I_{S0} \right) - 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) \right) \right)^2 \quad (15)$$

Na Tabela 4 são apresentadas as funções objetivo de duas variáveis $f(x, R_F)$ segundo o tipo de falta, conforme apresentado por Silveira et al. (2017). Essas funções expressam a soma das quedas de tensão no circuito fechado em falta que, de acordo com a lei de Kirchhoff, se anulam para o local da falta e o valor da resistência de falta, ou seja, $f(x, R_F) = 0$

Falta	$f(x, R_F)$
AT, BT, CT	$ V_S - xZ_1 \left(I_S + \left(\frac{Z_0 - Z_1}{Z_1} \right) I_{S0} \right) - 3R_F(I_{S1} + I_{R1}) ^2$
AB, BC, CA	$ V_{S1} - V_{S2} - xZ_1(I_{S1} + I_{S2}) - 2R_F(I_{S1} + I_{R1}) ^2$
ABT, BCT, CAT	$ V_{S1} - V_{S0} - xZ_1I_{S1} + xZ_0I_{S0} + 3R_F(I_{S0} + I_{R0}) ^2$
ABC	$ V_{S1} - xZ_1I_{S1} - R_F(I_{S1} + I_{R1}) ^2$

Tabela 4 - Funções objetivo.

No método AGRP, aplicado ao problema de localização de faltas em linhas de transmissão, um indivíduo corresponde ao ponto (x, R_f) , representando respectivamente o local e a resistência de falta. A cada geração, os indivíduos fornecem um conjunto de soluções da função objetivo e, após passarem por cruzamento, mutação, avaliação e seleção em função da minimização de $f(x, R_f)$ contribuem para a determinação de uma nova população mais adaptada ao problema de localização de falta.

6 | RESULTADOS OBTIDOS

Após a detecção e classificação da falta, os algoritmos Quasi-Newton, Elipsoidal e AGRP foram implementados e aplicados para a localização de faltas e identificação da resistência de falta de sinais simulados e reais da linha.

O gráfico da função objetivo de um evento de falta AT, ocorrida a 45 km, com resistência de falta de 20Ω é apresentado na Figura 8.

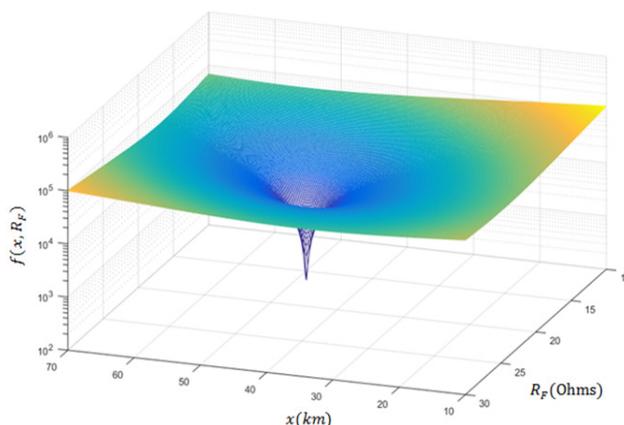


Figura 8 - Função objetivo: Falta AT (45 km - 20Ω).

6.1 Casos Simulados

Considerando-se faltas do tipo AT, geradas a cada 10% do comprimento total da linha de 74,4 km utilizada para a simulação, a execução dos algoritmos implementados forneceram os locais de falta especificados na Tabela 5.

Simulado	Quasi-Newton	Elipsoidal	AGRP	Simulado	Quasi-Newton	Elipsoidal	AGRP
7,44	7,4424	7,4442	7,4425	44,64	44,6523	44,6581	44,6523
14,88	14,8846	14,8876	14,8846	52,08	52,0841	52,0838	52,0840

22,32	22,3253	22,3260	22,3251	59,52	59,5054	59,5109	59,5054
29,76	29,7674	29,7683	29,7674	66,96	66,9365	66,9516	66,9365
37,20	37,2065	37,2094	37,2065				

Tabela 5 - Locais de falta na linha de transmissão.

Para uma falta ocorrida a 40% do terminal emissor da linha de transmissão (29,76 km), com resistência de falta de 20 Ω , os resultados gráficos das buscas encontram-se representados na Figura 9.

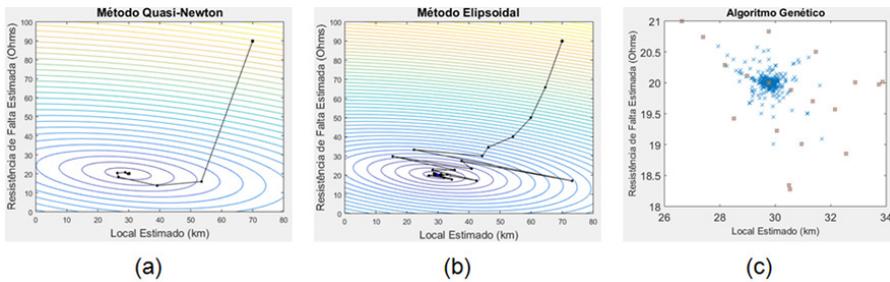


Figura 9 - Local e resistência de falta.

A aleatoriedade dos resultados é uma característica de métodos populacionais. Assim, para cada uma das nove simulações de curto-circuito do AGRP foram realizadas 30 execuções. O resultado gráfico referente à última geração da execução do método para as 9 simulações de curto-circuito são registrados na Figura 10 (a). As variações do local e da resistência de falta da simulação exemplificada na Figura 9 (c) são apresentadas na Figura 10 (b).

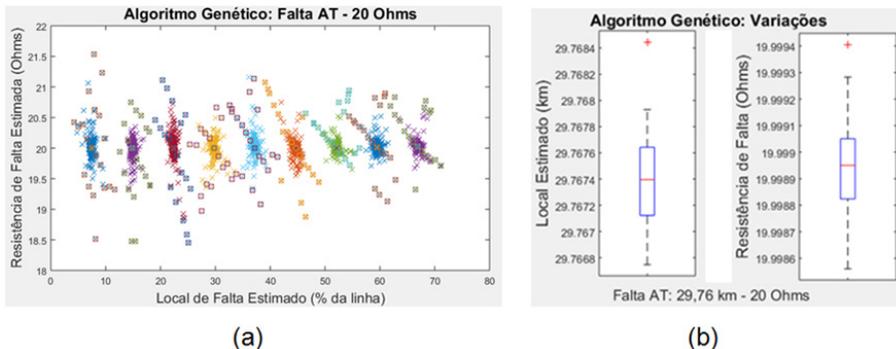


Figura 10 - AGRP: Dados simulados.

Na Figura 11 (a) e (b) apresentam-se respectivamente os resultados e erros obtidos pelos métodos de otimização para faltas AT simuladas pelo ATP a cada 10% do comprimento da linha de transmissão, com resistências de falta de 20 Ω .

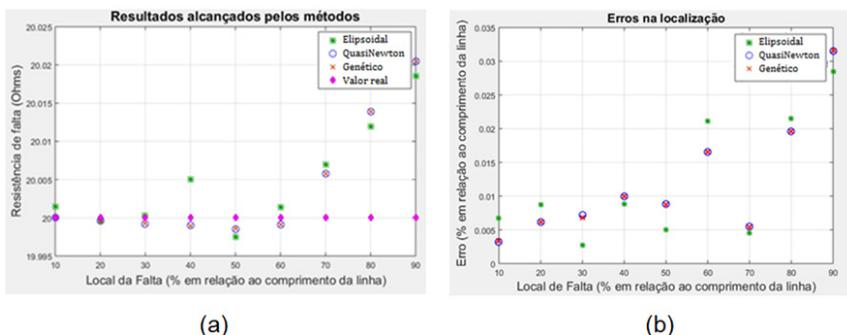


Figura 11 – Resultados e erros dos métodos: casos simulados para falta AT – 20 Ω .

6.2 Casos Reais

Os programas de localização foram aplicados a casos reais de curto-circuito do sistema elétrico brasileiro. O método clássico de localização de faltas em linhas de transmissão, de Johns e Jamali (1990), também foi implementado e utilizado como referência para a comparação dos resultados apresentados na Tabela 6.

Falta	AT ocorrida a 60 km				BT ocorrida a 54 km			
Causa	Descarga atmosférica				Descarga atmosférica			
Método	Johns	Quasi-Newton	Elipsoidal	AGRP	Johns	Quasi-Newton	Elipsoidal	AGRP
Local (km)	64,4	65,38	65,38	65,38	54,3	54,39	54,38	54,39
Erro (%)	5,9	7,22	7,22	7,22	0,40	0,52	0,51	0,52
Resistência (Ω)	---	4,26	4,26	4,26	---	4,93	4,94	4,94

Tabela 6 - Estimativas para casos reais.

As variações apresentadas na obtenção da resistência e do local estimado para as faltas reais AT e BT são apresentadas na Figura 12.

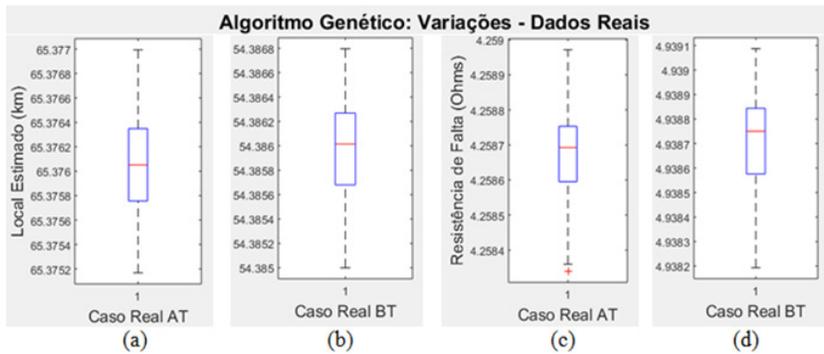


Figura 12 - Variação do local e da resistência de falta: Algoritmo AGRP.

71 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados métodos capazes de classificar e localizar faltas em linhas de transmissão, fornecendo também a resistência de falta em situações de curto-circuito. A classificação foi implementada através de RNAs, com a utilização de dados de um terminal da linha de transmissão. As entradas foram obtidas a partir dos módulos dos fasores de tensão e corrente do evento analisado. Observou-se que houve classificação correta para os casos reais testados, mesmo com a rede sendo treinada com arquivos de falta de uma linha de transmissão simulada no ATP.

Para a localização, utilizaram-se técnicas de otimização mono-objetivo aplicadas às funções objetivo, que são diferenciáveis, convexas e unimodais. Dos métodos apresentados, os de Quasi-Newton e Elipsoidal são determinísticos, sendo suficiente uma única execução para a obtenção dos resultados de busca e utilizam as derivadas da função objetivo e o método AGRP é estocástico, alcançando o resultado esperado com um número razoável de iterações. Para estes métodos procurou-se obter o ponto mínimo de uma função objetivo de duas variáveis.

Os métodos de Quasi-Newton, como todo método de direção de busca, realizou buscas locais, dependendo fortemente do cálculo da derivada e/ou da hessiana da função objetivo nos pontos obtidos a cada iteração. Estes métodos, quando aplicados em funções convexas, convergem para o mínimo local que, nestes casos, também representa o mínimo global, situação verificada para as funções objetivo utilizadas. Caso não fossem convexas, seria incorreto afirmar que o mínimo local também seria o mínimo global.

No método Elipsoidal, a exclusão de regiões ocorre a partir do subgradiente. Não há uma dependência direta das derivadas da função objetivo, contudo faz-se necessário que a mesma seja convexa ou quasi-convexa e unimodal, o que se verificou com as funções propostas. Estas condições, se não atendidas, conduziriam o algoritmo a uma situação imprevisível.

Para a convergência, os métodos populacionais não utilizam informações que envolvam derivadas da função objetivo. Trabalham com codificação de parâmetros e indicam soluções ótimas a partir de um conjunto de soluções, necessitando de análises estatísticas para o estudo da convergência do método. São indicados para o tratamento de funções e restrições de difícil modelagem e classificação matemática, não garantindo a obtenção da otimalidade local. O AGRP, aplicado à função proposta, convergiu para o mínimo local esperado.

Em relação ao aspecto prático do estudo, a linha de transmissão foi simulada com dados de uma linha existente no sistema elétrico brasileiro e arquivos reais de curto-circuito da mesma linha foram aplicados aos algoritmos Quasi-Newton, Elipsoidal e o AGRP, considerando-se a função objetivo selecionada, de acordo com o tipo de falta. Em todas as situações simuladas de estudo os resultados alcançados pelos algoritmos mostraram-se rápidos e estáveis, com erros inferiores a 1,0% do comprimento da linha. Os mesmos, quando aplicados ao caso real testado, forneceram erros próximos dos apresentados pelo algoritmo clássico de Johns, o que sinaliza a possibilidade de utilização em situações práticas.

REFERÊNCIAS

BLAND, R.G.; GOLDFARB, D.; TODD, M. J. (1981). **Feature Article - The Ellipsoid Method: A Survey**. *Operations Research*, [s.l.], v. 29, n. 6, p.1039 - 1091. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS).

Costa, F.B. (2014). Fault-induced transient detection based on real-time analysis of the wavelet coefficient energy. **IEEE Transactions On Power Delivery**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.140 - 153. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Johns, A.T.; Jamali, S. (1990). Accurate fault location technique for power transmission lines. **IEEE Proceedings C Generation, Transmission And Distribution**, [s.l.], v. 137, n. 6, p.395 - 402. Institution of Engineering and Technology (IET).

Luenberger, D.G., Ye, Y. (2008). **Linear and nonlinear programming**, New York, NY: *Springer*.

Phadke, A. G., Thorp, J. S. (1998). **Computer Relaying for Power System**, Research Studies Press, New York.

Saravanababu, K., Balakrishnan, P. e Sathiyasekar, K. Transmission line faults detection, classification, and location using Discrete Wavelet Transform. **International Conference On Power, Energy And Control (icpec)**, [s.l.], fev. 2013. IEEE.

Silveira, E. G., Paula, H. R., Rocha, S.A. e Pereira, C. S. (2017). Hybrid fault diagnosis algorithms for transmission lines. **Electrical Engineering**, [s.l.], v. 100, n. 3, p.1689 - 1699. Springer Nature.

Takahashi, R.H.C., Vasconcelos, J.A., Ramirez, J.A. e Krahenbuhl, L.(2003). A multiobjective methodology for evaluating genetic operators. **IEEE Transactions On Magnetics**, [s.l.], v. 39, n. 3, p.1321 - 1324. (IEEE).

CAPÍTULO 4

ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE APROVEITAMENTO COM GERAÇÃO HÍBRIDA HIDRÁULICO-FOTOVOLTAICO

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 12/06/2020

Marianna Aranda Lima

Universidade Positivo

Curitiba – Paraná

<http://lattes.cnpq.br/6253270895401592>

RESUMO: A energia elétrica se tornou uma das principais necessidades da sociedade moderna, e atualmente, no Brasil, a energia elétrica é gerada majoritariamente a partir de fontes hídricas por apresentar excelentes resultados quanto ao seu caráter sustentável. Porém, por ser um recurso necessário para a manutenção da vida na Terra é necessário que haja uma gestão dos recursos hídricos para o desenvolvimento territorial e econômico, tornando-se um componente estratégico de grande relevância. Os usos múltiplos e competitivos se acentuam e colocam pressões adicionais sobre a quantidade e qualidade da água. À medida que a economia se desenvolve e se diversifica, maior é a necessidade de uma gestão eficiente e participativa, contribuindo, assim, para o gerenciamento do estresse hídrico, regulando a demanda e compartilhando os usos múltiplos, além de receber destaque pela sua característica sazonal, aonde a geração enfrenta períodos sem precipitação, comprometendo, muitas vezes, o acúmulo de energia na forma potencial. Com isso, uma solução desenvolvida é o conceito de usinas híbridas hidráulico-fotovoltaicas com vistas a

diminuir os impactos das mudanças climáticas nos regimes hidrológicos de determinados rios, avaliando a possibilidade do restabelecimento de seus potenciais de armazenamento, a partir da integração de usinas fotovoltaicas a aproveitamentos hídricos. O estudo analisou dois aproveitamentos, a usina hidrelétrica de Sobradinho e do Foz do Areia, que apresentaram resultados favoráveis, quando analisados na forma de geração híbrida, demonstrando a possibilidade do armazenamento de água na forma potencial nos reservatórios.

PALAVRAS-CHAVE: Geração Híbrida Hidráulico-Fotovoltaica, Recomposição de Reservatório, Sistemas Fotovoltaicos.

ANALYSIS AND DIMENSIONING OF USE WITH HYBRID-PHOTOVOLTAIC GENERATION

ABSTRACT: Electricity has become one of the main needs of modern society, currently electricity is generated mainly from water sources because it presents excellent result in terms of its sustainable character. However, because it is a necessary to have a management of water resources for territorial and economic development, becoming a strategic component of great relevance. Multiple and competitive uses accentuate and place additional pressures on the amount of water quality. As the economy develops and diversifies, the greater the need for efficient and participatory management, thus contributing to the management of water stress, regulating demand and sharing multiple uses, as well as being highlighting by its seasonal character, where the generation faces periods

of no precipitation, often compromising the accumulation of energy in the potential form. A solution developed is the concept of hydro-photovoltaic hybrid plants with a view to reducing the impacts of climate change on the hydrological regimes of certain rivers, evaluating the possibility of reestablishing their storage potentials, from the integration of photovoltaic plant to water resources. The study analyzed two uses, the Sobradinho and Foz do Areia hydroelectric power plant, which presented favorable results when analyzed in the form of hybrid generation, demonstrating the possibility of storing water in the potential form in the reservoirs.

KEYWORDS: Hybrid hydro-photovoltaic generation, Reservoir Replenishment, Photovoltaic Systems.

1 | INTRODUÇÃO

Na sociedade, a energia elétrica tornou-se bem indispensável à sobrevivência humana (BARBOSA, 2015), porém para suprir essa demanda é necessário investir na construção de novas usinas, linhas de transmissão e distribuição, bem como fomentar e investir em fontes alternativas de energia (FIGUEIREDO, 2014).

O crescimento populacional, a industrialização, a ocupação territorial desordenada e a expansão da agricultura nos últimos séculos vêm acarretando problemas de escassez e degradação dos recursos hídricos. Com isso, a competitividade vem ligada aos usos múltiplos da água que buscam exigir quantidade e qualidade na água. A Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico (OECD) (OECD, 2012) afirma que cerca de 40% da população do mundo vive em condições de estresse hídrico, ou seja, quando a demanda por água é maior do que a sua disponibilidade e capacidade de renovação em determinada localidade. Com isso fica claro que o gerenciamento das águas passa a fazer parte constante de discussões políticas, sociais, econômicas e acadêmicas (CASTRO, 2012).

Dessa forma, pode-se pensar em combinar duas fontes de geração de energia, para que assim haja complementariedade na geração, além de estratégias que visem formas de compensação. A disponibilidade de recursos hídricos e solar existente permite a operação integrada destas fontes, de uma fonte solar com uma hidráulica, buscando maximizar a geração de energia (PENNING; TIMM; FINKLER, 2019).

Assim, pretende-se estudar o conceito de usinas híbridas hidráulico-fotovoltaico com vistas a diminuir os impactos das mudanças climáticas nos regimes hidrológicos de determinados rios, avaliando a possibilidade do restabelecimento de seus potenciais de armazenamento. Para tal, é necessário realizar uma modelagem do sistema híbrido, partindo inicialmente dos conceitos utilizados em aproveitamentos híbridos com energia armazenada, vazão sanitária, usos múltiplos da água, entre outros. Posteriormente será modelada a geração híbrida, considerando sistemas hidráulicos e fotovoltaicos, buscando o dimensionamento adequado para recomposição do reservatório.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Usinas Hidrelétricas

Em relação à utilização dos recursos hídricos para geração de energia elétrica, o Brasil destaca-se como um país com grande potencial hidrelétrico. Um gerador hidrelétrico funciona em função da força gerada por um líquido em escoamento. Este escoamento quando estrangulado aumenta sua velocidade, aumentando suas forças que fazem com que exista a movimentação de máquinas motrizes hidráulicas, produzindo o conjunto do motor (NETO; CARVALHO, 2013).

A energia hidrelétrica, adquire um comportamento instável devido à ocorrência de anos mais ou menos chuvosos. No entanto, ganha grande importância no contributo para o balanço energético no país, sendo claramente o recurso que mais se destaca no contributo para o balanço energético do país (CASTRO, 2015).

A quantidade de água armazenada em rios e nos reservatórios das usinas hidrelétricas representam o estoque de energia disponível e, desta forma, o nível médio dos reservatórios passa ser um item muito importante para a matriz energética do Brasil, sendo essencial seu monitoramento (LIMA, 2012).

O reservatório conta com alguns níveis pré-determinados para que se possa realizar o controle mais rigoroso da situação do nível de água, como:

- Nível d'água mínimo operacional;
- Volume morto
- Nível d'água máximo operacional
- Volume útil
- Volume de espera
- Nível d'água máximo maximorum

A vazão sanitária, definida pelos órgãos ambientais, visa manter as condições mínimas necessárias para sobrevivência da fauna e flora no referido trecho de desvio, que é aquele compreendido entre a barragem e o canal de fuga da central, onde a vazão turbinada é devolvida ao leito do rio.

Os reservatórios têm por finalidade acumular parte das águas disponíveis nos períodos chuvosos para compensar as deficiências nos períodos de estiagem, exercendo um efeito regularizados das vazões naturais.

2.2 Energia Solar

O aproveitamento de energia solar, seja como fonte de calor, seja como fonte de luz e uma das alternativas energéticas mais promissoras para solucionar parte dos problemas de escassez de energia enfrentadas pela população mundial. A energia solar fotovoltaica é

obtida pela conversão direta da luz em eletricidade, denominada de efeito fotovoltaico e é realizada pelos dispositivos fotovoltaicos (FV).

A radiação solar é um elemento meteorológico fundamental para diversos tipos de desenvolvimentos, a determinação de sua disponibilidade local e/ou regional é importante para o planejamento e condução das diferentes atividades.

A irradiância solar global inclui dois componentes, a radiação direta, que depende da latitude do local, hora do dia e dia do mês, e a radiação difusa, que depende da concentração de gases e partículas da atmosfera, nebulosidade, elevação do terreno adjacente à estação, edificações e árvores (TIBA, 2000).

O ciclo diurno da irradiância solar é resultante de fatores meteorológicos combinados a aspectos astronômicos tais como ângulo de incidência do sol que é função da latitude, hora do dia e dia do mês. A irradiância solar global é a quantidade de energia por unidade de área e unidade de tempo que incide sobre a superfície da Terra.

O dimensionamento de uma instalação fotovoltaica tem de ser efetuado de uma maneira muito criteriosa, considerando os custos relativamente elevados dos sistemas em relação à sua capacidade de produção de energia, é importante que sejam adotados critérios de dimensionamento adequados. Instalações superdimensionadas levam a custos de instalações muito altos que podem inviabilizar o projeto. Ao contrário, instalações subdimensionadas levam ao descrédito da tecnologia (FREITAS, 2008).

Segundo Serrão (2010), o procedimento que deve ser seguido envolve alguns processos de avaliação das características que envolvem o sistema, como a avaliação da localidade geográfica, longitude e latitude, a avaliação das necessidades energéticas para alimentar as cargas, a análise do espaço disponível, orientação e ângulo de inclinação, o desenvolvimento conceptual do sistema, a avaliação da radiação solar disponível de forma detalhada, o dimensionamento dos principais componentes do sistema, a seleção dos componentes e a revisão do projeto e dimensionamento do sistema.

2.3 Geração Híbrida

Conforme descrito por Li e Qui (2015), o complemento de geração a partir de hidrelétricas pode se tornar uma opção muito interessante tendo em vista a possibilidade de rápido ajuste da potência gerada e da estabilidade de geração proporcional pela operação conjunta com as turbinas hidráulicas.

Quando a energia fotovoltaica é interconectada à rede, as variações de carga devem ser compensadas pela energia hidráulica a fim de atender os picos e flutuações de demanda compensando assim a geração renovável do tipo fotovoltaica e tendo um papel fundamental na estratégia de operação do sistema nacional (ALENCAR, 2018).

Em comparação com a energia fotovoltaica, a energia hidráulica promove uma energia confiável, de fácil despacho e flexível. Sua geração, entretanto, depende da disponibilidade de água nos reservatórios e por consequência, da ocorrência de períodos

chuvosos recorrentes que permite o reestabelecimento dos níveis normais de operação destes reservatórios.

Conforme descrito por An et al. (2015), a compensação de energia fotovoltaica a partir da energia hidráulica pode ser caracterizada nas fases descritas, primeiramente a partir de uma regulação rápida em menor escala das palhetas do distribuidor, amenizando as variações bruscas inerentes da energia solar, sequencialmente a quantidade de energia potencial armazenada no reservatório e a flexibilidade da geração hidráulica.

A integração de fontes intermitentes em larga escala surge como uma solução viável, em particular, a complementariedade das fontes solar e hidráulica, pois traz um potencial significativo para permitir o controle de geração a partir da possibilidade de rápido ajuste da energia em função da demanda de carga e do aumento da capacidade de geração por mais tempo, trazendo uma maior segurança e confiabilidade para a operação do sistema elétrico (ALENCAR, 2018).

A implantação de usinas solares com potência altas pode operar em paralelo com a usina hidrelétrica, compartilhando a estrutura de interligação na rede, atendendo assim a demanda de forma estável, despachável e confiável. E permitindo tanto uma economia de água do reservatório como a estabilização da curva de geração fotovoltaica a partir da atuação rápida das turbinas hidráulicas (AN et al., 2015).

A geração fotovoltaica no decorrer do dia permite a economia de água nos reservatórios para assim ser utilizada durante o período noturno, e ou armazenamento para recomposição do leito do rio, conseqüentemente reduzindo o consumo de água para tal.

Dentro deste contexto, o estudo da operação ou projeto de usinas híbridas hidráulico-fotovoltaico permite uma utilização otimizada destes recursos hídricos, seja a partir do dimensionamento de um reservatório otimizado ou do consumo mais reduzido da água de um reservatório já construído onde se integra uma usina fotovoltaica.

3 | METODOLOGIA DA PESQUISA

A presente pesquisa tem como finalidade desenvolver uma pesquisa aplicada referente ao tema geração híbrida hidráulico-fotovoltaica, através da coleta de dados quantitativos em relação aos objetivos descritos. Posteriormente, serão realizadas simulações no Excel, a fim de verificar e ilustrar a recomposição do leito do rio quando aplicado o sistema de usinas híbridas.

O estudo de caso proposto avaliou dois aproveitamentos hidrelétricos situados nos estados da Bahia e do Paraná. As usinas de Sobradinho e Foz do Areia (Governador Bento Munhoz da Rocha Netto) estão instaladas no Rio São Francisco e no rio Iguaçu, respectivamente. Estas usinas não possuem somente a função de gerar energia elétrica, mas também de prover recursos hídricos para as regiões em torno, como a regularização de recursos hídricos, abastecimento de água, fornecimento de água para irrigação e agropecuária.

O aproveitamento hidrelétrico de Sobradinho está situado no Estado da Bahia, a aproximadamente 40 km das cidades de Juazeiro na Bahia e de Petrolina em Pernambuco. A usina está instalada no rio São Francisco, principal rio da região nordestina, com uma bacia hidrográfica da ordem de 630.000 km² e de extensão de 3.200 km.

O reservatório de Sobradinho é dito de acumulação possuindo cerca de 360 km de extensão e uma área superficial de 4.214 km². Sua capacidade de armazenamento gira em torno de 34 bilhões de metros cúbicos ao se considerar sua cota nominal de 392,50 metros. A casa de força compreende 6 (seis) unidades geradoras acionadas por turbinas tipo Kaplan com potência unitária de 175 MW, totalizando 1.050 MW. A vazão turbinada de casa turbina corresponde a 710 m³/s considerando a queda líquida nominal de cada máquina igual a 27,2 metros.

A Usina de Foz do Areia, conhecida também por “Usina Governador Bento Munhoz da Rocha Netto” (COPEL, 1995), está situada no rio Iguaçu, um dos principais afluentes do rio Paraná. Desde suas nascentes, ao pé da serra do mar, próximas à cidade de Curitiba, até sua foz, no rio Paraná, possui uma área de drenagem total de 70.799 km², dos quais mais de 80% em território paranaense e o restante do estado de Santa Catarina.

Na usina hidrelétrica de Foz do Areia, no trecho médio do rio Iguaçu, a área de drenagem da bacia incremental a montante do aproveitamento é de aproximadamente 29.900 km², possui uma potência instalada de 1.674 MW, sendo quatro turbinas Francis de 418,5 MW cada uma, com possibilidade de ampliação para um total de 2.509 MW. O aproveitamento compreende uma barragem de enrocamento com fase de concreto com uma altura máxima de 160 m, comprimento de crista de 828 m, estrutura de tomada d’água com sete comportas e um vertedouro. reservatório, criado pela barragem, tem uma área inundada de 153 km² no nível correspondente à cota 744 m, o volume útil do reservatório é de 4,3 bilhões de metros cúbicos.

Os dados reais de geração consolidados, que contemplam estas variáveis, foram obtidos do histórico de operação da usina disponibilizado pelo ONS e tratados para serem analisados. Sendo assim foi obtida a média mensal da capacidade útil do volume do reservatório desde 1999 para a usinas de Sobradinho e desde 2013 para a usina de Foz do Areais, para a validação do modelo serão analisados dados referentes aos anos de 2013 a 2017.

O modelo de geração híbrida hidráulica-fotovoltaica busca integrar fontes intermitentes a fim de maximizar a geração de energia, partindo da minimização das flutuações da potência de geração fotovoltaica para a mínima utilização da água do reservatório criando uma estabilização na geração de forma global. Toda vazão de água necessária a geração hidráulica de uma turbina corresponde a geração fotovoltaica a ser armazenada em forma de energia potencial no próprio reservatório (FANG et al., 2017).

Se uma usina hidrelétrica está localizada próxima a uma usina fotovoltaica, estas fontes tem a possibilidade de operar de forma combinada, aumentando assim a qualidade

de geração como um todo, em que estas características de complementariedade de fontes e flexibilidade de geração proporcionam vantagens competitivas entre as outras fontes intermitentes.

A capacidade da hidrelétrica compensar a usina fotovoltaica e capacidade do parque híbrido de regular o pico da demanda, está relacionado com a distribuição de cargas entre a usina hidrelétrica e a usina fotovoltaica. Leva-se em conta os níveis mínimos e máximos do reservatório da usina hidrelétrica, bem como a vazão mínima necessária para garantir a vazão natural do rio.

A curto prazo a energia hidráulica auxilia na compensação da geração intermitente e variável da energia fotovoltaica. A médio e longo prazo quando há economia de água do reservatório em função da geração fotovoltaica durante o dia para permitir o atendimento aos picos de demanda da forma mais planejada (ALENCAR, 2018).

O projeto e dimensionamento de sistemas fotovoltaicos conectados à rede para uma usina hidrelétrica existente dependem essencialmente das condições apresentadas a seguir:

- do espaço disponível, sua orientação e ângulo de inclinação;
- localização geográfica, longitude e latitude;
- temperatura do local;
- incidência solar;
- das especificações técnicas dos equipamentos.

A principal condição que limita a potência instalada é a área disponível para instalação, bem como sua angulação e coordenadas geográficas, estes critérios precisam ser levados em consideração para que os dados de radiação solar correspondam de forma efetiva a localidade da instalação, levando-se em consideração a melhor angulação e posicionamento para a planta.

Tendo em vista que a potência do sistema fotovoltaico é pré-determinado, o critério adotado para a escolha das usinas hidrelétricas que fariam parte do sistema de geração híbrido se deu na busca de um reservatório de acumulação de grande porte (Sobradinho) e uma usina que possuísse um reservatório de acumulação menor (Foz do Areia).

4 | DESENVOLVIMENTO

Foram escolhidos dois aproveitamentos um na região Nordeste e outro na região Sul. O estudo de caso proposto avaliou dois aproveitamentos hidrelétricos de Sobradinho e Foz do Areia.

Tendo em vista a disponibilidade destes reservatórios a aplicação do complemento das fontes solar e hidráulica traz consigo o conceito da geração fotovoltaica ser vista como

uma vazão adicional ao reservatório. Este complemento dependerá de fatores como a variação dos recursos e a disponibilidade de operação da unidade geradora (MARGENTA; GLASNOVIC, 2011).

Dados reais de geração foram utilizados para a execução do projeto, estes contemplam variáveis existentes nestes aproveitamentos hidráulicos e foram obtidos a partir do histórico de operação das usinas disponibilizado pelo ONS. Dentre estes dados foram obtidas informações mensais de capacidade útil do volume do reservatório, nível de montante, volume útil, vazão afluyente, defluente, turbinada e vertida.

Foram analisados dados para a usina de Sobradinho desde o ano de 1999, já na usina de Foz do Areia os dados analisados foram a partir do ano de 2013, para a validação do modelo em relação a quantidade de energia armazenada em água, serão apresentados dados referentes aos anos de 2013 a 2017.

No que diz respeito a geração fotovoltaica seguiu-se a metodologia, bem como os dados dos reservatórios, foi considerado uma radiação solar, HSP, de acordo cada localidade e os respectivos valores por mês.

Com este modelo, verificou-se a disponibilidade hídrica, avaliando-se o balanço entre a demanda de carga e a energia gerada para um determinado período, a recomposição do reservatório, bem como seu volume útil, partindo de uma nova queda líquida a partir da compensação da geração das fontes hidráulica e fotovoltaica.

5 | RESULTADOS

Os reservatórios de Sobradinho e Foz do Areia apresentam características distintas quando comparados, não só pelo tamanho, mas também quanto ao volume de precipitação. Com isso a disponibilidade destes e a aplicação do complemento das fontes solar e hidráulica traz consigo o conceito da geração fotovoltaica ser vista como uma vazão adicional ao reservatório. Este complemento dependerá de fatores como a variação dos recursos e a disponibilidade de operação da unidade geradora (MARGENTA; GLASNOVIC, 2011).

Dados reais de geração foram utilizados para a execução do projeto, estes, contemplam variáveis existentes nestes aproveitamentos hidráulicos e foram obtidos a partir do histórico de operação das usinas disponibilizado pela ONS. Dentre estes dados foram obtidas informações mensais da capacidade útil do volume do reservatório, nível de montante, volume útil, vazão afluyente, defluente, turbinada e vertida. Os dados hídricos analisados para as usinas tiveram variação de período, por este motivo optou-se pela análise dos dados referentes aos anos de 2013 a 2017, para a validação do modelo.

No que diz respeito a geração fotovoltaica que integra o sistema de geração híbrido proposto, estipulou um valor médio de 96 MWh de geração mensal, variante de acordo com quantidade de dias do mês, bem como a irradiação do mês em questão de acordo com a

localidade. Este valor médio estimado levou em consideração o período de aproveitamento dos módulos fotovoltaicos.

Ao final da análise referente aos anos de 2013 a 2017 na usina de Sobradinho o volume de água armazenada corresponde a 40.765.078.760 m³ de água ao final deste período, a recomposição foi equivalente a 0,1218% do volume total do reservatório. Na usina de Foz do Areia este valor foi correspondente a 31.568.130.761 m³ de água no final do mesmo período, a recomposição foi equivalente a 0,4927% do volume total do reservatório.

O acréscimo percentual calculado ao volume útil considerando os dados históricos mensais para todos os dados coletados pode ser observado na gráfico da Figura 1 ilustra as curvas no período entre 2013 e 2017 do volume útil real do reservatório em comparação com o volume útil simulado estimado a partir do armazenamento adicional de água em função da geração fotovoltaica integrada a usina hidrelétrica.

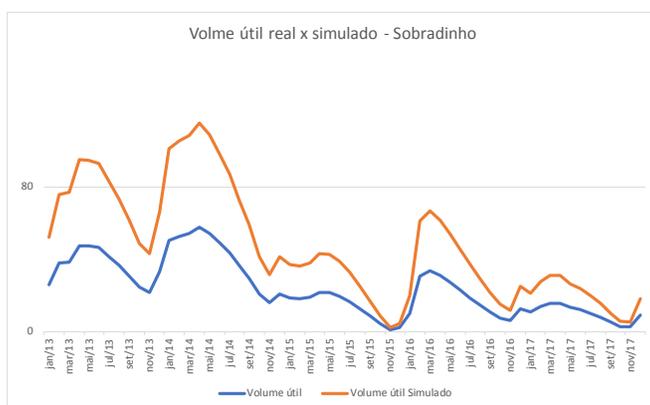


Figura 1 - Volume real x simulado – Sobradinho (Autora, 2019)

Nota-se na Figura 1 o deslocamento da reta contida o volume útil simulado acima da reta do volume útil real, este fato ilustra o enchimento do reservatório a partir do armazenamento de água simulado com a integração das fontes solar e hidráulica, pois neste período de 60 meses um volume significativo de água foi poupado de geração hidráulica e compensado em geração de energia a partir da fonte fotovoltaica.

A Figura 2 mostra o gráfico referente ao mesmo período para a usina de Foz do Areia, onde as duas retas ilustram o armazenamento de água.

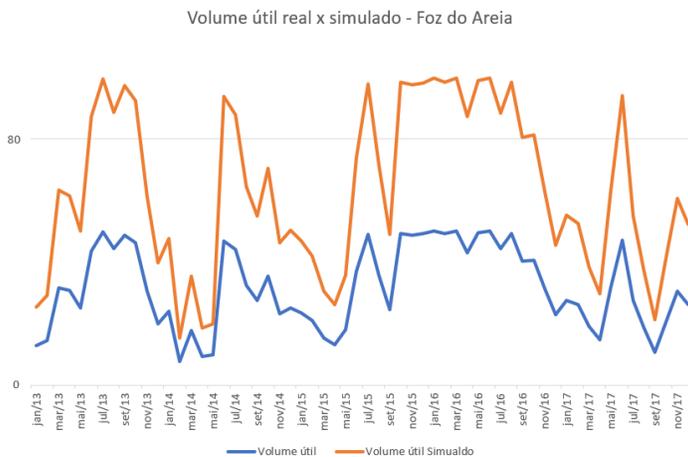


Figura 2 - Volume útil real x simulado - Foz do Areia (Autora, 2019)

Apesar de se mostrarem relativamente pequenos, fazem referência ao volume de todo o reservatório que representam quantidades significativas de armazenamento adicional de água.

6 | CONCLUSÃO

O modelo de geração híbrida hidráulica-fotovoltaica proposto demonstrou a funcionalidade do sistema de geração a partir da compensação de duas fontes renováveis de energia, sendo uma intermitente e a outra influenciável pelo sistema climático e de precipitação.

O armazenamento de energia a partir do volume de água não turbinado garante a segurança energética do aproveitamento, possibilitando o reservatório a ter continuidade de geração de energia elétrica e dos usos múltiplos, mesmo em períodos críticos, como no período de seca.

O sistema simulado para as usinas de Sobradinho e Foz do Areia, apresentaram resultados significativos quando comparados com a usina sem a geração híbrida, este fato fica notório ao se analisar os dados de volume útil real e os dados de volume útil simulados, estes dados tem como base o volume total do reservatório.

A solução apresentada conta com vantagens e desvantagens, o sistema de integração de fontes possibilita o escoamento da energia gerada a partir da fonte fotovoltaica pela mesma linha de transmissão contida na usina hidráulica, diminuindo assim os custos quanto a instalada em outra localidade, bem como a facilitação no aumento da potência. Outro ponto interessante no que diz respeito a integração das fontes se dá pela facilidade de instalação da fonte solar, tendo em vista a área disponível nas usinas hidráulicas.

Para a amplificação do sistema de geração de energia atual, pode-se pensar na construção de novas usinas hidráulicas, porém estes aproveitamentos possuem a necessidade de grandes construções e conseqüentemente de áreas alagadas. Com isso a integração das fontes surge como uma oportunidade de aumentar a geração e o armazenamento de água nos reservatórios já existentes, porém o custo do projeto e instalação do sistema fotovoltaico, pode acabar por inviabilizar o projeto, porém este não foi o enfoque do trabalho, e sim a visualização da recomposição dos leitos dos rios a partir da geração híbrida.

REFERÊNCIAS

AN, Y.; FANG, W.; MING, B.; HUANG, Q. **Theories and methodology of complementary hydro/photovoltaic operation: Applications to short-term scheduling**. Journal of Renewable and Sustainable Energy, vol. 7, 063133, pp. 1-13, 2015.

ALENCAR, C. A. **Impacto de geração híbrida hidráulica-fotovoltaica no Brasil**, 2018. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

BARBOSA, B. M. C., **Avaliação do potencial hidroelétrico - uso de SIG na bacia do rio Lima**. 138 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Energias Renováveis) - Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal, 2015.

CASTRO, N. **Perspectivas para a energia eólica no Brasil**. 18. Ed. Rio de Janeiro: GESEL/IE/UFRJ, 2012.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia, 1995, **Usina Hidrelétrica Foz do Areia**, rio Iguaçu, Paraná, Brasil: memória técnica. Curitiba : COPEL, 280 páginas.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Grupo de Trabalho de Energia Solar - GTES. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro, CRESESB, 2004.

FANG, W.; HUANG, Q.; HUANG, S.; YANG, J.; MENG, E.; LI, Y. **Optimal sizing of utility scale photovoltaic power generation complementarily operating with hydropower: A case study of the world's largest hydro-photovoltaic plant**, Energy Conversion and Management, vol. 136, pp. 167-172, 2017.

FIGUEIREIDO, F. de S. **Geração e transmissão de energia elétrica: um olhar pela sustentabilidade**. 22 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

FREITAS, S. **Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Instituto Politécnico de Bragança. Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Bragança, São Paulo, 2008.

LI, F. F., QUI, J., **Multi objective optimization for integrated hydrophotovoltaic power system**, Applied Energy, pp. 1-08. 2015.

NETO CARVALHO, R. M., **Uso do balanço hídrico climatológico para subsidiar tomadas de decisões quanto ao manejo de bacias hidrográficas**. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

OECD, **OECD Environmental Outlook to 2050 - The consequences of inaction**. OECD Publishing, Paris. <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264122246-en>>. Acesso em: 16 abr. 2019.

PENNING, A. J.; TIMM, E. A.; FINKLER, R., **Energia solar: estudo de caso de uma residência na cidade de Caxias do Sul/RS**. Centro Universitário Instituição FSG, 2019.

TIBA, C., **Atlas solarimétrico do Brasil: Banco de dados terrestre**, 1. Ed. UFPE - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

DIAMOND INTEGRATED COATING BY ELECTROPLATING PROCESS - AN OVERVIEW

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 29/07/2020

Regina Bertília Dantas de Medeiros

Materials Science and Engineering
Postgraduate Program, Federal University of
Rio Grande do Norte.

Natal – Rio Grande do Norte, Brazil
<http://lattes.cnpq.br/2032967355553700>

Janary Martins Figueiredo Filho

School of Sciences and Technology, Federal
University of Rio Grande do Norte.

Natal – Rio Grande do Norte, Brazil
<http://lattes.cnpq.br/4499929740723896>

Meysam Mashhadikarimi

Materials Science and Engineering
Postgraduate Program, Federal University of
Rio Grande do Norte.

Natal – Rio Grande do Norte, Brazil
<http://lattes.cnpq.br/9422624675887080>

Uilame Umbelino Gomes

Materials Science and Engineering
Postgraduate Program, Federal University of
Rio Grande do Norte.

Natal – Rio Grande do Norte, Brazil
<http://lattes.cnpq.br/9858094266525225>

ABSTRACT: The electroplating process is a method widely used industrially to the metal coating on a solid substrate. In recent years, this technique has also been applied to the manufacturing of diamond tools. Such tools play an important role in the most diverse industrial

sectors, from the drilling of water and oil wells to high precision machining. Thus, this work aims to bring a review of the main information of the electroplating process for the manufacture of diamond tools. This review paper will talk about the main advances already achieved for this type of technology, as well as the main parameters and conditions used in the industries. The leading applications, challenges, and prospects for this market will also be discussed.

KEYWORDS: Electroplating, diamond tools, diamond deposition, materials engineering.

REVESTIMENTOS DIAMANTADOS OBTIDOS PELO PROCESSO DE ELETROPLATING - UMA VISÃO GERAL

RESUMO: O processo *electroplating* ou *eletrodeposição* é um método muito utilizado industrialmente para revestir substratos sólidos com metais. Nos últimos anos, essa técnica tem sido bastante aplicada para fabricação de ferramentas diamantadas. Tais ferramentas desempenham um importante papel nas mais diversas esferas industriais, desde a perfuração de poços de água e petróleo até usinagem de altíssima precisão. Assim, este trabalho tem como objetivo trazer um levantamento sobre as principais informações acerca do processo de electroplating para a fabricação de ferramentas diamantadas. Esta revisão abordará os principais avanços já alcançados para esse tipo de tecnologia, bem como os mais importantes parâmetros e condições utilizados nas indústrias. As principais aplicações, desafios e perspectivas para esse mercado também serão discutidas.

PALAVRAS-CHAVE: Eletrodeposição, ferramentas diamantadas, deposição de diamante, Engenharia de Materiais

1 | INTRODUCTION

Materials science and engineering have development, creation, and improvement of materials in several fields as the main objective. Such study is based on the relationship between structure, manufacturing process, properties, and application. From then on, it is possible to choose the best material, or set of materials, needed for certain purposes. The innovations within this comprehensive science offer novel technologies, more efficient processes, and better products. (DOBRZAŃSKI, 2006)

Within this context, advances in industrial sectors require more innovations. For this reason, the field dedicated to cutting and wear tools, especially diamond tools, is quite emerging. These tools are mainly coated with polycrystalline diamond (PCD), which consists of a composite of diamond particles sintered from a metal binder. Currently, PCD is one of the hardest and most abrasion-resistant materials in the world. It also shows properties such as chemical resistance and high thermal conductivity. (BARRETO *et al.*, 2020; GURGEL *et al.*, 2020; NEVES, 2017)

Electroplating is one of the most important industrial techniques for applying particulate coating. In this process, a plating bath with suspended particles is used to put on coating on a prepared substrate. In most cases, a complementary metal, usually nickel or cobalt, is used to aid in the deposition and fixation of the hard layer on the substrate. (HE *et al.*, 2012; SUNG J.; SUNG M., 2009)

Based on this principle, scientists applied the electroplating process for the deposition of diamond particles on special substrates, since there is a difficulty in depositing diamond by other traditional methods. Besides, it avoids wasting diamond particles. (TSUBOTA *et al.*, 2005; WU *et al.*, 2019)

This technique is one of the suitable methods due to its simplicity, low cost, low process temperature, easy access to the nanoscale structure as well as the production of high-density and porosity-free coatings. The electroplating is also used as an economical and high productivity method given the fact most time requires just one step, without any secondary operation. (DEZFULI; SABZI, 2019; KANDA *et al.*, 1995)

Besides, compared to other methods, it allows a low cost of the total process, low initial investment value, high productivity, equipment mobility, and less required industrial space. (LI *et al.*, 2007)

Thus, currently, electroplating is highly used to prepare diamond tools. The main manufactured products include cutting and grinding discs, drills, grinding rollers, and shank or thread tools. Other applications consist of tools for high-speed cutting, ultra-precision machining, and ultrasonic vibration techniques, for example. (CUI *et al.*, 2016)

To achieve good properties of the final products, it is very important to understand the function of the electroplating process, as well as the main variables and parameters involved.

2 | THE ELECTROPLATING PROCESS

The electroplating is based on the electrolysis process. This technique consists of immersing a cathode-anode pair in an electrolytic solution composed of the element to be used in the coating. The electrical current must be associated with the system, allowing the metal ions to transfer from the anode to the cathode surface, where the film will grow. (LEE; CHOI, 2001; SUZUKI; KONNO, 2014)

For the manufacture of diamond discs, a steel substrate (cathode), a nickel bar (anode), and diamond particles suspended in an electrolyte with nickel salts are generally used. The diamond particles will be dragged by the movement of the anode particles, depositing together on the substrate. Thus, the deposition of hard particles on the substrate is relatively simple. (REID *et al.*, 2004; SIKDER *et al.*, 1999)

The use of nickel in the electrodeposition process began in 1843, by R. Bottger. He provided a formulation using an aqueous solution of nickel and ammonium sulfates. Over the years, the process was improved by Isaac Adams Jr, who established the use of neutral pH in the solution to obtain better quality control of the deposited nickel. Subsequently, in 1916, Oliver P. Watts developed an electrolyte called a Watts bath. This bath was composed of boric acid, nickel sulfate, and nickel chloride. Due to its high effectiveness, this composition triggered the elimination of nickel sulfates and ammonia, and its formula is still used today. (SCHLESINGER; PAUNOVIC, 2011)

In system assembly, the cathode is the element that will receive deposition. Steel is the most used material, but there are also records of using some types of ceramic materials, such as tungsten carbide or silicon nitride. The anode is the material used for the coating, commonly nickel. To avoid contamination with other ions, the electrolyte must consist of a solution of some anode salt, as nickel sulfate, for example. (CHIBA *et al.*, 2003; ZHOU *et al.*, 2009). Figure 1 shows how the apparatus is usually assembled.

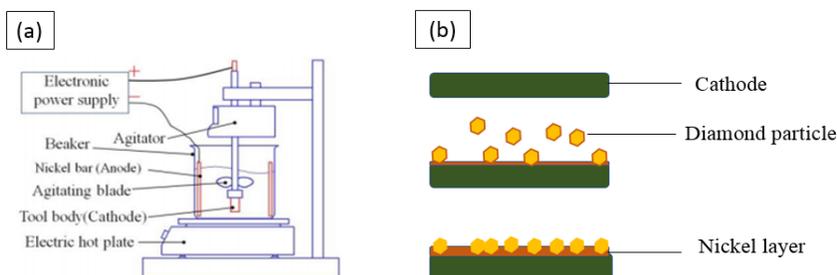


Figure 1: (a) The common configuration of the bath used for electrodeposition. (b) The schematic representation of the coating formation process. Adapted from Zhang *et al.* (2014), and Zhang *et al.* (2016).

At the electrodeposition bath, there is also the presence of diamond particles suspended in the electrolyte. During the current application, these particles will be dragged and deposited into the cathode. The particle characteristics and the size distribution range are defined by the desired application. On the other hand, the thickness of the diamond layer is related to the process parameters, such as bath agitation speed, employed current, temperature, and diamond solution concentration. (PUSHPAVANAM *et al.*, 2007; ZHANG *et al.*, 2016)

Figure 2 shows the surface schematization of the diamond discs after the electroplating process.

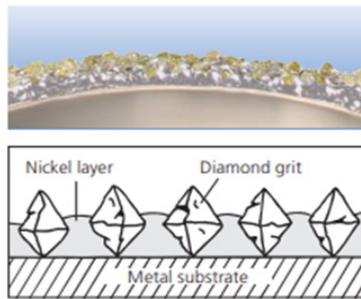


Figure 2: The surface schematization after the electrodeposition of the Ni-diamond coating.
Source: PFERD (2020).

3 | ADDITIONAL METHODS FOR IMPROVING DEPOSITION

Over the years, several authors have worked on improving the diamond deposition process. Fletcher (1979) proposed the use of etching to create small grooves in the substrate before the deposition. Such a process creates small cavities in the workpiece surface, thus providing a stronger mechanical connection between the diamond and the workpiece. Figure 3 illustrates the product resulting from the process.

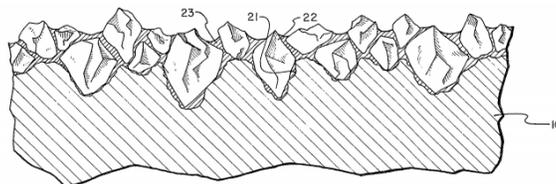


Figure 3: Electrodeposited piece proposed by Fletcher (1979). (10) substrate; (21) cavities made before the electroplating process. (22) diamond particles; (23) metal used to drag diamond particles. Source: Fletcher (1979).

Another option for improving adhesion between the diamond and substrate is the metallization of the diamond particles. Du *et al.* (2020) explain that the diamond bonded on the substrate by a covalent bond has high interfacial energy. Besides, the interfacial bonding force is poor, resulting in a small bond holding force on diamond/substrate. Thus, diamond is easy to fall off prematurely, which reduces the service life and processing efficiency of diamond tools.

Methods such as electroless plating, magnetron sputtering, CVD, and even electroplating itself, can be used to perform metallization and thus reduce the interfacial energy. The metal film enhances the chemical affinity of diamond with metals and their alloys, and that way, improve the interaction with the substrate during the electroplating process. (DU *et al.*, 2020; WERNER, 2003)

4 | SUBSTRATE PREPARATION

To obtain a high-quality deposition, a prior cleaning of the involved materials is necessary. Cleaning prevents the presence of oils, greases, and surface impurities, which can hinder adsorption reactions. Several authors have been proposing different methodologies for carrying out this process.

Onikura *et al.* (2003), deposited a diamond layer on a cemented carbide substrate. They performed the traditional ultrasound cleaning with acetone and immersion in sulfuric acid, as well as electrolytic degreasing as an additional step. Degreasing consisted of immersing the substrate in a solution of NaOH, Na₂CO₃, and Na₃PO₄·12H₂O, applying a current density of 8.44 and 12.2 A/dm², for 3 and 5 minutes. Soon after, the substrate was soaked in sulfuric acid diluted 20 times. As a result, the authors verified that samples without electrolytic degreasing had the diamond layer peeling very quickly, with a useful life quite limited. However, those that underwent this process showed flaking only in small regions. Also, the samples treated for 5 minutes had a better result than the one treated for 3 minutes.

Zhang *et al.* (2016) also indicated a chemical cleaning carried out on carbon steel substrates before depositing Ni/W-diamond. The substrates were washed successively with soap, rinsed with NaOH, HCl, and distilled water; and activated in 14% HCl, to improve the adhesion of the layer.

Zhou *et al.* (2019) studied the cleaning of a NiTi alloy substrate for Ni-diamond deposition, for dental applications. The cleaning consisted of immersing the samples in acetone for 10 min in the ultrasound, with subsequent washing in distilled water. Then, it was immersed in alkaline liquid (unspecified), washed in distilled water, and dipped in a mixed solution of H₂SO₄ and HCl. Finally, it was taken to the electroplating process.

The patent CN1544706A also suggests carrying out a treatment on the diamond particles before deposition. As described in the invention, the particles must be immersed in a 10% NaOH solution for 30 minutes and washed with distilled water. Then, it must be

immersed in a 10% HCl solution for another 30 min and washed with water again. In the end, activation with hydrochloric acid is indicated.

5 | PROCESS PARAMETERS

The parameters used in the electroplating process directly affect the quality of the final products. Among them, the main ones are the type of bath, the agitation speed, current density, the type of diamond used, pH, and bath temperature.

5.1 Type of bath

There are two different bath compositions to be used to obtain coating via electrodeposition: Watt Bath and Sulfamate Bath. Both types are similar in their purpose, differing according to the used reagents. It is also known that the Watt bath is more commercially developed compared to the sulfamate one (HE *et al.*, 2012; TSUBOTA *et al.*, 2005).

Table 1 shows the reagents and their average concentrations used for each type of bath.

Watt Bath	Sulfamate Bath
NiSO_4 - 200 to 350 g/L	$\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2$ - 300 to 500 g/L
NiCl_2 - 20 to 45 g/L	NiCl_2 - 5 to 30 g/L
H_3BO_3 - 20 to 35 g/L	H_3BO_3 - 30 to 45 g/L

Table 1: Composition of the baths for the electroplating process.

5.2 Agitation speed

Agitation in the process is essential for electrodeposition to occur, once the diamond particles in suspension must not settle at the container bottom. Rotational movement is also necessary to promote homogeneous particle dispersion, in addition to preventing sites without diamond coating on the substrate. Previous studies indicate the ideal stirring speed is in the range of 300 and 500 rpm. If the speed is too high, the suspended diamond particles can come in contact with the layer already deposited, wearing it away. On the other hand, if the speed is too low, the particles can settle to the bottom of the container, instead of being attracted to the substrate. (LEE; CHOI, 2001; ZHOU *et al.*, 2015)

5.3 Current density

The current density influences the metal deposition speed. If this parameter is extremely high, internal stresses can occur in the coating, leading to cracking and flaking in the final product. Furthermore, as the anode undergoes reduction, if the current density

is very high, there will be much more anode deposited on the cathode than the diamond particles themselves. On the contrary, if the current density is low, the metal particles may not have enough speed to drag the diamond particles. As reported in previous works, the conventional current density ranges between 2 and 8 A/dm². (LIU *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2014)

5.4 Diamond particles characteristics

The diamond particles used at the electroplating process usually have an average particle diameter below 30 μm . In general, as lower the particle size, better the deposition is. This happens because smaller particles have a higher surface area, optimizing the adhesion of Ni²⁺ ions and diamond particles with the substrate. However, if the particles were too small, agglomeration may occur, and some anti-agglomeration agent should be used. Some studies reported the use of nickel-plated diamonds to facilitate the transport of these particles to the substrate (cathode). Furthermore, diamond concentrations in the bath ranged from 1 to 50 g/L. (MEDELIENE *et al.*, 2003; YUSHCHENKO *et al.*, 1997; ZHOU *et al.*, 2009)

5.5 pH and temperature of the bath

Most electroplating processes occur at acidic pH, usually varying between 3 and 4 by treatment with sulfuric acid (H₂SO₄) or sodium hydroxide (NaOH). Temperatures are controlled throughout the process and generally ranged between 40 and 60 °C. (QIN *et al.*, 2014; ZHOU *et al.*, 2015)

6 | HEAT TREATMENT AFTER THE ELECTROPLATING

Some authors have been reported improvements in adherence and mechanical properties of coatings through heat treatments after the deposition.

Wang *et al.* (2014) studied the heat treatment of Ni-W/nanocrystalline diamond deposited at stainless steel. The process was carried out for 1 hour in a nitrogen atmosphere (120ml/min and heating rate of 10 °C/min), varying the temperature between 400 and 700 °C. For samples treated from 500 °C, oxidation occurred with the formation of the NiWO_x phases. However, there was also an increase in hardness up to 600 °C, and the wear rate of the samples decreased as the treatment temperature increased. This could indicate an improvement in the materials' useful life.

Huang *et al.* (2019), exposed steel samples coated with Ni-diamond and Ni-B-diamond to annealing at temperatures between 100 and 500 °C for 30 minutes. They observed an increase in the hardness of the treated samples up to 300 °C. Above 300 °C, the hardness decrease. Even so, there was an increase in the useful life of all coatings, and no cracks were found in any of the annealed parts, only those that did not undergo annealing. Besides, the treated samples had better performance in machining tests.

Finally, Ogihara *et al.* (2012) studied the deposition of Ni-B-diamond on a copper substrate, with treatment at 300 °C in an air atmosphere (without time specifications). As a result, an increase in hardness between 300 and 600 HV was observed.

71 CONCLUSION

In conclusion, electroplating is a simple and low-cost process for diamond deposition on tools and, therefore has great importance for diverse sectors of industrial manufacturing. Although already well consolidated, with the advancement of current technologies and industrial needs, this process still can receive more improvements for the coming years. It is notorious the great efforts from researchers and scientists to develop novel materials as anode and cathode, new processes for surface preparation of substrates, and treatments to improve adhesion between the layers. Thus, for the next few years, greater optimizations and cost reductions of this process, as well as improvements in the performance and useful life of the electroplated tools are expected.

REFERENCES

BARRETO, L.P.P. *et al.* **Preparation and characterization of sintered polycrystalline diamond (PCD) with 15 wt% Nb binder.** *Diamond And Related Materials*, v. 106, p. 107867, jun. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.diamond.2020.107867>.

CHIBA, Y. *et al.* **Development of a High-Speed Manufacturing Method for Electroplated Diamond Wire Tools.** *Cirp Annals*, v. 52, n. 1, p. 281-284, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/s0007-8506\(07\)60584-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0007-8506(07)60584-8).

CUI, Ying *et al.* **Study on electroplating technology of diamond tools for machining hard and brittle materials.** 8Th International Symposium On Advanced Optical Manufacturing And Testing Technologies: Advanced Optical Manufacturing Technologies, 96832A 5. 2016. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2246281>.

DEZFULI, Saeid Mersagh; SABZI, Masoud. **Deposition of ceramic nanocomposite coatings by electroplating process: a review of layer-deposition mechanisms and effective parameters on the formation of the coating.** *Ceramics International*, v. 45, n. 17, p. 21835-21842, dec. 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.07.190>.

DOBRZAŃSKI, Leszek A.. **Significance of materials science for the future development of societies.** *Journal Of Materials Processing Technology*, v. 175, n. 1-3, p. 133-148, jun. 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.04.003>.

DU, Quanbin *et al.* **Research status on surface metallization of diamond.** *Materials Research Express*, v. 6, n. 12, p. 122005, 6 jan. 2020. <http://dx.doi.org/10.1088/2053-1591/ab49f3>.

FLETCHER, J. Lawrence. **Bonding process for grinding tools.** US-4155721-A. 1979.

GURGEL, Diego Pires *et al.* **Niobium as a new binder for polycrystalline diamond (PCD) sintered via High Pressure-High Temperature (HPHT).** *International Journal Of Refractory Metals And Hard Materials*, v. 90, p. 105234, aug. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2020.105234>.

HE, Xiangzhu *et al.* **Preparation and Investigation of Ni-Diamond Composite Coatings by Electrodeposition.** *Nanoscience And Nanotechnology Letters*, v. 4, n. 1, p. 48-52, 1 jan. 2012. <http://dx.doi.org/10.1166/nnl.2012.1286>.

HUANG, Ching An *et al.* **Fabrication and evaluation of electroplated Ni–diamond and Ni–B–diamond milling tools with a high density of diamond particles.** *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, v. 104, n. 5-8, p. 2981-2989, 5 aug. 2019. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-019-04174-3>.

KANDA, K. *et al.* **Application of diamond-coated cutting tools.** *Surface And Coatings Technology*, v. 73, n. 1-2, p. 115-120, jul. 1995. [http://dx.doi.org/10.1016/0257-8972\(94\)02370-0](http://dx.doi.org/10.1016/0257-8972(94)02370-0).

LEE, E.C.; CHOI, J.W.. **A study on the mechanism of formation of electrocodeposited Ni–diamond coatings.** *Surface And Coatings Technology*, v. 148, n. 2-3, p. 234-240, dec. 2001. [http://dx.doi.org/10.1016/s0257-8972\(01\)01352-4](http://dx.doi.org/10.1016/s0257-8972(01)01352-4).

LI, Yundong *et al.* **Novel application of nanocrystalline nickel electrodeposit: making good diamond tools easily, efficiently and economically.** *Surface And Coatings Technology*, v. 201, n. 12, p. 5925-5930, mar. 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.10.047>.

LIU, J.H. *et al.* **Studies on preparation, microstructure, mechanical properties and corrosion resistance of Ni Mo/micron-sized diamond composite coatings.** *Surface And Coatings Technology*, v. 385, p. 125451. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125451>.

MEDELIENE, V. *et al.* **The influence of artificial diamond additions on the formation and properties of an electroplated copper metal matrix coating.** *Surface And Coatings Technology*, v. 168, n. 2-3, p. 161-168. 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/s0257-8972\(03\)00224-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0257-8972(03)00224-x).

NEVES, T. B. **Definição de Parâmetros de Utilização para Ferramentas de Corte com Insertos PCD.** Instituto Politécnico de Leiria. p. 116, 2017.

OGIHARA, Hitoshi *et al.* **Effect of electrodeposition conditions on hardness of Ni–B/diamond composite films.** *Surface And Coatings Technology*, v. 212, p. 180-184, nov. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.09.045>.

ONIKURA, Hiromichi *et al.* **Fabrication of Electroplated Micro Grinding Wheels and Manufacturing of Microstructures with Ultrasonic Vibration.** *Key Engineering Materials*, v. 238-239, p. 9-14, apr. 2003. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.238-239.9>.

PFERD. **Electroplated Diamond Tools.** Available at: www.pferd.com.br. Accessed: 06 apr. 2020.

PUSHPAVANAM, Malathy *et al.* **Preparation and characterization of nickel–cobalt-diamond electro-composites by sediment co-deposition.** *Surface And Coatings Technology*, v. 201, n. 14, p. 6372-6379, abr. 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2006.12.004>.

QIN, Jiaqian *et al.* **The high concentration and uniform distribution of diamond particles in Ni-diamond composite coatings by sediment co-deposition.** *Surface and Interface Analysis*, v. 47, n. 3, p. 331-339, 2014. <https://doi.org/10.1002/sia5712>.

- REID, J. D. *et al.* **Electroplating Process for Avoiding Defects in Metal Features of Integrated Circuit Devices.** US-6793796-B2. 2004.
- REZAGHOLI, Hamed *et al.* **Properties of copper/nano-diamond composites upon pre/post heat treatment.** Materials Research Express, v. 6, n. 12, p. 125007, 13 nov. 2019. <http://dx.doi.org/10.1088/2053-1591/ab547e>.
- SCHLESINGER, Mordechai; PAUNOVIC, Milan. **Modern Electroplating.** 5. ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011. 736 p.
- SIKDER, A.K. *et al.* **Surface engineering of metal–diamond composite coatings on steel substrates using chemical vapour deposition and electroplating routes.** Surface And Coatings Technology, v. 114, n. 2-3, p. 230-234, may 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/s0257-8972\(99\)00050-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0257-8972(99)00050-x).
- SUNG, J. C.; SUNG, M. **The brazing of diamond.** International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, v. 27, n. 2, p. 382–393, 2009. <http://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2008.11.011>.
- SUZUKI, Tsunehisa; KONNO, Takashi. **Improvement in tool life of electroplated diamond tools by Ni-based carbon nanotube composite coatings.** Precision Engineering, v. 38, n. 3, p. 659-665, jul. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.precisioneng.2014.03.003>.
- TSUBOTA, Toshiki *et al.* **Composite electroplating of Ni and surface-modified diamond particles with silane coupling reagent.** Diamond And Related Materials, v. 14, n. 3-7, p. 608-612, mar. 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.diamond.2005.01.013>.
- WANG, Han-Tao *et al.* **The effect of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of electrodeposited nanocrystalline Ni–W/diamond composite coatings.** Surface And Coatings Technology, v. 259, p. 268-273, nov. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.03.064>.
- WERNER, Matthias. **Diamond metallization for device applications.** Semiconductor Science And Technology, v. 18, n. 3, p. 41-46, 10 feb. 2003. <http://dx.doi.org/10.1088/0268-1242/18/3/306>.
- WU, Yongpeng *et al.* **Microstructure of Cu-diamond composites with near-perfect interfaces prepared via electroplating and its thermal properties.** Materials Characterization, v. 150, p. 199-206, apr. 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchar.2019.02.018>.
- YUSHCHENKO, T. I. *et al.* **Effect of surfactants on the electrodeposition of diamond-bearing composite coatings.** Powder Metallurgy And Metal Ceramics, v. 36, n. 3-4, p. 190-192, mar. 1997. <http://dx.doi.org/10.1007/bf02676088>.
- ZHANG, Xinyu *et al.* **Co-electrodeposition of hard Ni-W/diamond nanocomposite coatings.** Scientific Reports, v. 6, n. 1, p. 1-11, 29 feb. 2016. <http://dx.doi.org/10.1038/srep22285>.
- ZHANG, Yu *et al.* **Development of partially Ni-coated diamond abrasives for electroplated tools.** Transactions of the JSME, v. 80, n. 813, p. SMM0111–SMM0111, 2014. Japan Society of Mechanical Engineers. <http://dx.doi.org/10.1299/transjsme.2014smm0111>.
- ZHOU, Hui Min *et al.* **A Ni/Surface-Modified Diamond Composite Electroplating Coating on Superelastic NiTi Alloy as Potential Dental Bur Design.** Materials Science Forum, v. 610-613, p. 1339-1342, jan. 2009. Trans Tech Publications, Ltd.. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.610-613.1339>.

ZHOU, Haifei *et al.* **A new insight into promotion action of Co²⁺ in Ni-diamond composite electrodeposition.** Journal Of Materials Science & Technology, v. 35, n. 8, p. 1797-1802, aug. 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmst.2019.03.019>.

ZHOU, Haifei *et al.* **Characteristics investigation of Ni-diamond composite electrodeposition.** Electrochimica Acta, v. 151, p. 157-167, jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2014.10.122>.

陈思儋. **Method for making electroplated diamond tool by diamond surface activation.** CN1544706A. 2003.

TECNOLOGIA ASSISTIVA: PROTÓTIPO DE DISPOSITIVO PARA ESTÍMULO SENSORIAL INTENSIVO

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 16/06/20

Mauro Fonseca Rodrigues

Universidade Regional do Noroeste do Estado do RS – UNIJUI, Departamento das Ciências Exatas e Engenharias - DCEEng
Santa Rosa – RS
<http://lattes.cnpq.br/7341416023275265>

Diane Johann

Universidade Regional do Noroeste do Estado do RS – UNIJUI, Departamento das Ciências Exatas e Engenharias - DCEEng
Ijuí – RS
<http://lattes.cnpq.br/0347342763289154>

Leonardo Rafael Willers

Universidade Regional do Noroeste do Estado do RS – UNIJUI, Departamento das Ciências Exatas e Engenharias - DCEEng
São José do Inhacorá – RS
<http://lattes.cnpq.br/7389153487554641>

Gracieli Cristina Scherer

Universidade Regional do Noroeste do Estado do RS – UNIJUI, Departamento das Ciências Exatas e Engenharias - DCEEng
São José do Inhacorá - RS
<http://lattes.cnpq.br/2421765526770921>

Kelly Gabriela Poersch

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha – IFFar.
São José do Inhacorá - RS
<http://lattes.cnpq.br/1424153227876392>

RESUMO: A cabine sensorial 4 estações consiste num equipamento eletroeletrônico, controlado por software dedicado, instalado em ambiente confinado para controlar as variáveis: temperatura, circulação de ar, som, iluminação, odores e formas internas. Essa ferramenta foi desenvolvida para atender necessidade de recuperação terapêutica de pacientes que necessitam de reabilitação especializada. A proposta inovadora teve sua patente requerida pela Universidade (Unijui) em parceria com os pesquisadores/extensionistas que o desenvolveram no Projeto de Extensão Rompendo Barreiras, sob o número de processo: BR 1020170264343. Esse projeto busca aplicar conceitos tecnológicos e de inovação para melhoria da qualidade de vida de pessoas com necessidades especiais, área que se denomina Tecnologia Assistiva. Para realizar este projeto foram usados recursos humanos das áreas de Engenharia Elétrica, Design e Fisioterapia. A etapa apresentada neste artigo diz respeito ao funcionamento da parte elétrica e algoritmo computacional que fazem o controle e acionamentos dos dispositivos para realizar o processo das 4 estações do ano e suas consequentes percepções de forma acelerada, otimizando o tratamento dos pacientes que tenham, porventura, perda de algum sentido por AVE (Acidente Vascular Encefálico) ou outras complicações de cirurgias, traumas, etc. Como resultados, apresentam-se os modos de operação desenvolvidos no protótipo que está em teste na Unidade de Reabilitação de Ijuí/ RS - UNIR.

PALAVRAS-CHAVE: Tecnologia Assistiva; Memória sensorial, Instrumentação eletrônica, Algoritmos; Controle aplicado, Instrumentação.

ASSISTIVE TECHNOLOGY: PROTOTYPE OF DEVICE FOR INTENSIVE SENSORY STIMULATION

ABSTRACT: The 4-station sensory booth consists of electronic equipment, controlled by dedicated software, installed in a confined environment to control the variables: temperature, air circulation, sound, lighting, odors and internal shapes. This tool was developed to meet the need for therapeutic recovery of patients who need specialized rehabilitation. The innovative proposal had its patent applied for by the University (Unijuí) in partnership with the researchers / extension workers who developed it in the Rompendo Barreiras Extension Project, under the process number: BR 1020170264343. This project seeks to apply technological and innovation concepts to improve the quality of life for people with special needs, an area called Assistive Technology. To carry out this project, human resources were used in the areas of Electrical Engineering, Design and Physiotherapy. The stage presented in this article concerns the operation of the electrical part and computational algorithm that control and activate the devices to carry out the process of the four seasons and their consequent perceptions in an accelerated way, optimizing the treatment of patients who have, perhaps, loss of any sense due to stroke (stroke) or other complications of surgery, trauma, etc. As a result, the operating modes developed in the prototype that is being tested in the Rehabilitation Unit of Ijuí / RS - UNIR are presented.

KEYWORDS: Assistive technology, Sensory memory, Electronic instrumentation, Algorithms, Applied control, Instrumentation.

1 | INTRODUÇÃO

Esta investigação tem como tema a TA (Tecnologia Assistiva), mais especificamente, sobre a realização de um Protótipo de Dispositivo para Estímulo Sensorial Intensivo (Unijuí, 2017). O principal objetivo deste trabalho é apresentar o estimulador intensivo dos sentidos, desenvolvido na Unijuí, de forma que pacientes em recuperação possam ter uma aceleração do seu desenvolvimento sensorial.

Os projetos desenvolvidos na área de TA dependem significativamente da integração das áreas do conhecimento. Diante disso, a Engenharia Elétrica, em sua área de atuação, contribui de forma significativa neste processo, já que dispõe de recursos que podem agregar soluções em projetos dos mais variados tipos e no auxílio dos objetivos comuns da área. (Tiede, 2016).

A TA desempenha um papel fundamental na vida de pacientes com deficiência, permitindo que vivam de forma mais saudável, produtiva, independente e digna. Porém, algumas barreiras são enfrentadas por eles na hora de ter acesso à utilização de uma TA, por conta, principalmente, do alto custo de aquisição.

Por este e outros motivos que é de extrema importância a percepção das contribuições e a utilização deste invento para auxiliar na reabilitação dos pacientes, trabalhando os cinco sentidos, em conjunto ou individualmente. Além disso, ela foi construída a partir de materiais obsoletos, ou seja, que estão fora de uso, diminuindo os custos de fabricação e evitando descartes de eletrônicos na natureza.

2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente existem inúmeras pessoas com deficiência no mundo todo. Segundo dados da OMS (Organização Mundial de Saúde), uma em cada sete pessoas no mundo vivem com alguma deficiência e necessitam de cuidados especiais. Muitos ainda possuem necessidades maiores, como a utilização de aparelhos para locomoção, respiração, entre outros. (ONU, 2015).

Diante desta situação, foi criada, em 1988, uma tecnologia chamada *Assistive Technology*, que no Brasil foi traduzida como TA. Para MACHADO e SOBRAL (2009), a TA é “uma ampla gama de equipamentos, serviços, estratégias e práticas concebidas e aplicadas para minorar os problemas funcionais encontrados pelos indivíduos com deficiência”.

Ou seja, ela tem como objetivo tornar a vida de pessoas que possuem deficiências em suas habilidades funcionais mais fácil e independente, além de promover melhor qualidade de vida, inclusão social e autonomia. De acordo com o EDUCAMUNDO (2018) “Exemplos de tecnologia assistiva: rampas de acesso a calçadas e a prédios; andadores; lupas manuais ou eletrônicas; softwares ampliadores de tela; aparelhos para surdez; avatar de Libras”.

Os avanços tecnológicos são de extrema importância para a sociedade moderna, possibilitando e oferecendo inúmeros benefícios e auxílios. Neste sentido, a Engenharia é de fundamental importância e tem presença marcante em nosso cotidiano, desde ruas, casas, prédios, hospitais, shoppings e rodovias.

Segundo Rodrigues, Gomes e Reis (2015), as inovações tecnológicas são de muita utilidade na área medicinal, entretanto o grande problema do sistema público de saúde brasileiro está no fato que a inclusão de aparelhos tecnológicos é um processo caro, pois além dos aparelhos gastarem muito é fundamental uma série de adaptações no prédio hospitalar para o recebimento dos mesmos. (p.7).

Neste sentido, a Engenharia Elétrica tem muito potencial para possibilitar ao ser humano uma melhor perspectiva no que diz respeito à saúde. De acordo com Barreto (2018) “diversas outras aplicações vieram da Engenharia Elétrica para proporcionar à Medicina a possibilidade de curar doenças e fazer diagnósticos antes impossíveis de serem realizados”.

Neste caso, percebendo a potencialidade que a Engenharia Elétrica possui e dos altos custos que as inovações tecnológicas apresentam, se torna significativa a fabricação de aparelhos que venham a ajudar o público com necessidades especiais e que tenham o menor custo possível.

Em vista desta situação, o Projeto de Extensão Rompendo Barreiras, com estudantes do curso de Engenharia Elétrica e Design projetaram, desenvolveram e fabricaram uma cabine sensorial, que tem como função simular as quatro estações do ano, oferecendo, aos pacientes, sensações que estimulam os sentidos do corpo humano. Trazendo mudanças de temperatura, cheiros, efeitos visuais e sonoros, além de que, através de equipamentos escolhidos por especialistas na área de Fisioterapia, o paciente fará uso de alguns objetos, para as sensações do tato, e alimentos, para o paladar. (Unijuí, 2017).

Para colocar um viés de sustentabilidade no projeto, a cabine sensorial foi construída a partir de materiais obsoletos, ou seja, que estão fora de uso, diminuindo os custos de fabricação e evitando descartes de eletrônicos na natureza.

Entre as aplicações do aparelho, conforme informações da Fisioterapia e Terapeutas ocupacionais da clínica de reabilitação, um dos principais usos do equipamento seria para recuperação de pacientes de AVC. Muitos desses indivíduos, após o evento, ficam com defasagens graves nos sentidos do corpo e precisam de estímulos para ir recuperando suas condições iniciais ou, ao menos, melhorar sua qualidade de vida. (Unijuí, 2017) e (Chamlian, 2010).

2.1 Interface eletrônica

Para desenvolver o sistema, foi necessário conhecer alguns recursos de algoritmos e eletrônica para realizar a interface entre software e hardware. Com a premissa de usar materiais obsoletos optou-se em usar programação para acionamento da porta paralela e aplicar um computador pessoal como um microcontrolador. A Fig. 1 apresenta os requisitos para conectar dispositivos nessa interface.

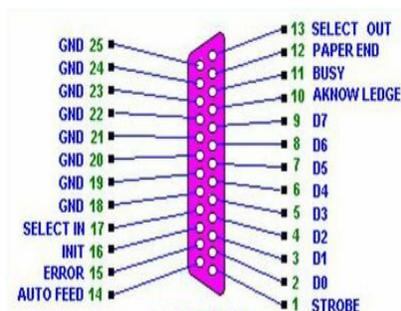


Fig. 1 Pinos de entrada/saída na porta paralela do computador

Os pinos de comunicação D0 a D7 são usados como saída e os pinos de controle, como SELECT IN, INIT, ERROR, AUTO FEED, PAPER END, etc., são usados como entrada a partir do algoritmo de controle realizado em Linguagem C. (Tanembaum, 2006) (Almeida, Moraes, Seraphim, 2016).

A porta paralela utilizada (DB25) pode enviar até 8 bits simultaneamente através dos pinos digitais (2 a 9), um bit em cada condutor. Já os pinos de recepção de sinais (10 a 13 e 15) são responsáveis por receber os dados vindos da placa nela conectada. A referência de terra é representada por 8 pinos: 18 a 25. Os demais também possuem configuração de saída, com função de controle de status.

3 | METODOLOGIA

Depois da coleta de dados, inclusive com profissionais da área da saúde e especificamente da unidade de reabilitação, foi desenvolvido um diagrama de blocos (Fig. 2), contendo o circuito lógico do funcionamento de toda a cabine sensorial. A interpretação dos dados é feita pelo computador (bloco 4) que se comunica com a placa eletrônica de interface (bloco 3) através da porta paralela. São conectados diretamente no computador a tela (bloco 7) e os alto-falantes (bloco 8), que não precisam de um circuito externo para atuarem. Basicamente a placa recebe informações dos sensores (bloco 2), faz o tratamento desses sinais e de acordo com as informações vindas do computador ela aciona os atuadores (blocos 1, 5, 6, 9, 10 e 11) que de fato vão alterar as condições internas do ambiente da cabine.

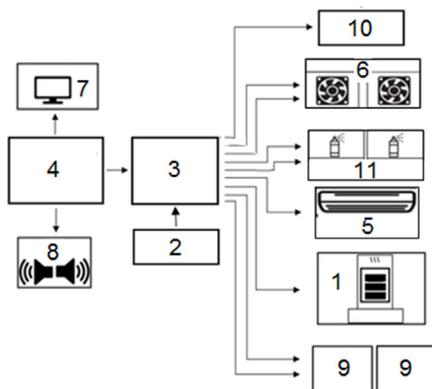


Fig. 2 Diagrama de blocos estrutural da cabine.

Resumidamente, através da aplicação deste diagrama foi possível simular em ambiente fechado as 4 estações do ano, de forma acelerada, com mudanças rápidas entre as características únicas de cada temporada, buscando forçar o paciente em recuperação a ampliar sua percepção através dos seus sentidos.

Apresentando o diagrama da Fig. 2, vem:

- Aquecedor portátil;
- Sensores de temperatura do ambiente, dentro e fora da cabine;
- Placa eletrônica de interface entre o computador e dispositivos externos;
- Computador obsoleto, tipo desktop, Pentium;
- Ar condicionado na função refrigeração;
- Circuladores de ar pequenos para efetuar a troca rápida de temperatura;
- Monitor de vídeo com tubo de imagem, integrado na estrutura;
- Sistema de som surround;
- Luzes de LED RGB (coloridas);
- Caixas com texturas, comidas e sucos conforme a estação;
- Aspersores de odor.

Para implementar essa estrutura foi montado um diagrama para realizar a interface entre o sistema computacional e os equipamentos, Fig. 3.

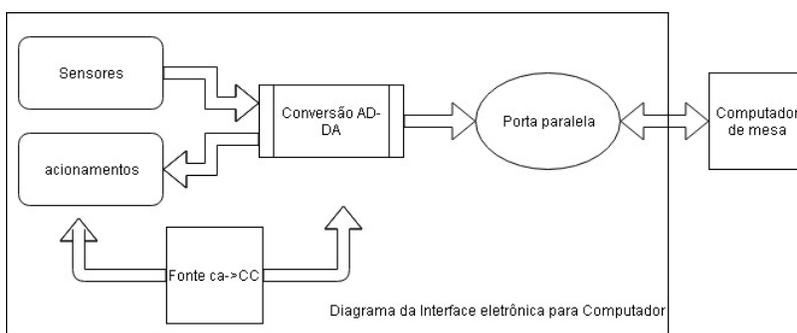


Fig. 3 Diagrama da interface.

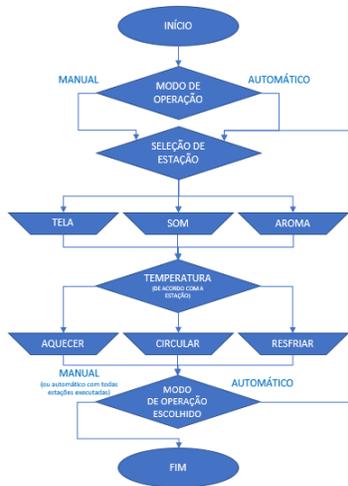


Fig. 4 Algoritmo do sistema computacional.

A função da interface eletrônica é converter o controle de software, proveniente do sistema computacional, representado pelo fluxograma da Fig. 4, em comandos capazes de acionar os dispositivos corretos para cada etapa do tratamento, bem como receber as entradas dos sensores e transportá-las como informação ao algoritmo computacional.

4 | IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE

Apesar de usar equipamentos obsoletos, em vias de sucateamento, houve a necessidade de confeccionar uma placa de interface que realizasse a proteção do sistema computacional (controle) dos dispositivos que realizam entrada e saída das informações da cabine conforme diagrama da Fig. 2 e Fig. 3, resultando no protótipo da Fig. 5. Seu esquema de construção incorpora eletrônica digital e analógica para acionar relés dimensionados para os equipamentos instalados na cabine.



Fig. 5 Placa eletrônica de interface.

A placa possui alimentação independente, convertendo a tensão 220 Vac em 12 VCC que é adequada para os demais componentes. A temperatura é detectada pelo sensor LM35, que tem uma variação 10 mV em sua saída para cada 1°C em sua entrada.

A informação da temperatura é comparada com um nível de tensão variável e ajustável para liberar um sinal digital através de um amplificador operacional, Fig. 6 (National, 1994), configurado na forma de comparador. Quando a tensão, proveniente do LM35, for maior que a tensão em comparação, a saída fica com nível lógico alto, caso seja menor a saída se mantém em zero; essa informação vai diretamente à porta paralela para que o algoritmo faça o tratamento digital da informação.

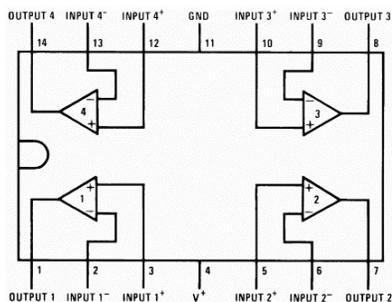


Fig. 6 Estrutura LM324.

Para proteção e isolamento das etapas de controle e acionamento, o sinal passa por optoisoladores com intuito de proteger a porta do computador. A necessidade dessa isolação vem do grande risco de que aconteça um curto-circuito ou surto na placa / rede elétrica. Esse dispositivo é composto por um LED infravermelho e um transistor NPN. Utilizou-se o 4N25, Fig. 7 (Vishay, 2004), neste caso, com capacidade de isolar até 5 kV.

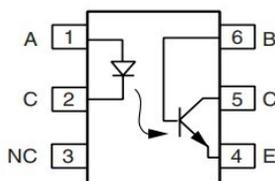


Fig. 7 Estrutura 4N25.

A partir dessa estrutura foi possível realizar os testes e solicitar a patente do equipamento (UNIJUÍ, 2017) pelas suas características únicas e inovadoras para o tratamento dos pacientes.

4.1 Protótipo

Embora o modelo projetado e patenteado possa ser adaptado a qualquer ambiente fechado, foi construída uma estrutura compacta para tratamento intensivo individual, apresentado na Fig. 8.

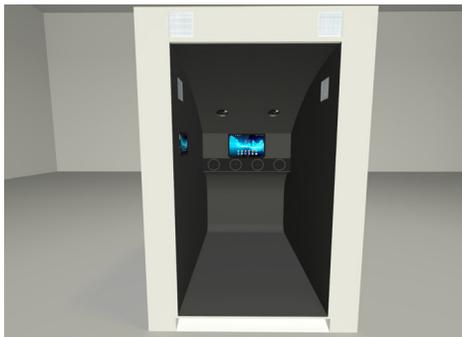


Fig. 8 Projeto/diagrama da cabine sensorial.

Para que este diagrama tomasse forma, foi construído um protótipo apresentado na Fig. 9. Ele possui 2,10 m de altura, 1,6 m de largura internamente, permitindo que o paciente e o Terapeuta possam estar em conjunto e controlar o ambiente de forma a estimular os sentidos expostos ao tratamento.



Fig. 9 Protótipo de teste da cabine sensorial 4 estações.

Sobre os materiais:

- o piso solo é antiderrapante;
- as laterais contém fitas de LED com controle de cor para simular os tons de cada estação do ano;
- os ventiladores (fans) colocados no teto e nas saídas frontais fazem a troca rápida do ar entre dentro e fora;
- o ar refrigerado e aquecedor estão na parte de baixo para ampliar a sensação térmica do paciente que estará sentado;
- as gavetas centrais ficam com materiais que podem estimular o tato e são acionadas de acordo com a estação do ano em decurso;
- a bancada superior às gavetas suporta pratos pequenos (até 20 cm de diâmetro) e copos que possam estimular o paladar e o olfato;
- o monitor LCD e os alto falantes fixado na parte do fundo enviam os estímulos sonoros e visíveis e, nos pés, ainda fica um *sub-woofer* para ampliar a sensação sonora;
- a cortina frontal tem a função de separar a luminosidade e a temperatura interna e externa, mas em casos de pessoa com claustrofobia, por exemplo, pode ser deixada aberta ou substituída por material transparente com facilidade;
- atrás da parede do fundo há um acesso lateral para instalação dos equipamentos e manutenção.

O protótipo foi construído para os testes com pacientes, que iniciarão após protocolos de tratamento e devidas autorizações da CEP (Comissão de Ética e Pesquisa), que ainda estão em tramitação.

5 | DISCUSSÃO E RESULTADOS

A operação do sistema foi testada para as funções existentes e condições do protótipo. A partir dos aspectos construtivos e operacionais foram desenvolvidos dois modos de funcionamento: automático e manual. A limitação encontrada, na operação manual, diz respeito à troca de temperatura que, dependendo do volume interno do ambiente, não acontece em menos de 20 segundos. Esse tempo foi conseguido com o protótipo construído da cabine, que possui uma área mínima para uso desse recurso. Numa estrutura maior esse tempo tende a ser maior.

5.1 Modo Automático

Ao colocar o protótipo em funcionamento, foram rodados testes para configuração do acionamento dos dispositivos e tempos regulares para troca das estações do ano. Na

configuração mais otimizada, chegou-se a um tempo de 3 min 20s para a passagem de todo ano, sendo 50s para cada estação. No entanto, essa configuração é organizada conforme o terapeuta programa o tratamento ao paciente em reabilitação.

O funcionamento completo ocorre a partir da estação do ano do momento. Ou seja, se estivermos no outono o sistema inicia no outono, passa ao inverno, primavera e, por fim, verão. Esse processo acontece para evitar uma troca brusca da condição climática atual para outra no interior da cabine.

Durante o processo, o monitor de vídeo mostra imagens animadas de cada estação, enquanto o sistema de som emite trechos de músicas, ruídos e sons de animais associados a cada estação do ano. O sensor de temperatura vai informando a temperatura interna de acordo com a estação do ano em andamento e o sistema de controle (software) aciona os dispositivos de aquecimento e resfriamento de acordo. As texturas, comidas ou sucos são variáveis de acordo com a necessidade do paciente em recuperação de ser estimulado nesse sentido.

5.2 Modo Manual

No modo manual de funcionamento é dado ao Terapeuta ocupacional a opção de configurar as estações do ano que deseja trabalhar e o tempo que cada uma deve permanecer.

Essa configuração pode ocorrer anterior ao início do tratamento ou ser configurada durante o processo, permitindo a gravação ao final e reprodução na próxima sessão do modelo de tratamento que melhor repercutiu na recuperação do paciente.

Com isso foi possível personalizar o atendimento, pois os pacientes apresentam, algumas vezes, características bem específicas, tais como dificuldade de: sentir calor ou frio, ouvir sons graves ou agudos, paladar, olfato, etc.

6 | CONCLUSÕES

Graças aos avanços da tecnologia e da Engenharia, os médicos dispõem de um grande arsenal de equipamentos para diagnóstico e tratamento. Alguns produtos que melhoram a qualidade de vida das pessoas são os órgãos artificiais, as próteses para substituição de articulações, as tecnologias de aquisição e processamento de imagens e os biomateriais. (Cocian, 2017).

A TA está cada vez mais presente em todos os setores da saúde e com o auxílio de projetos universitários terá excelentes resultados no tratamento de pessoas que precisam desse método para melhorar sua qualidade de vida.

O projeto possui um potencial enorme e foi patenteado pela Universidade (Unijuí, 2017) e seus resultados iniciais foram satisfatórios nos testes. Neste momento, estão em desenvolvimento os protocolos para testar com pacientes. Além disso, o tratamento pode

ser considerado como de baixo investimento financeiro para elaboração do equipamento e disponibilização aos usuários.

Através da simulação das estações do ano conseguiu-se, num ambiente fechado e controlado, um sistema completo para estimular todos os sentidos dos pacientes em reabilitação, acelerando consideravelmente o período de tratamento com resultados intensificados na recuperação.

Com o êxito alcançado no funcionamento do hardware e do software, tanto no modo manual como no modo automático, o protótipo da cabine está sendo ajustado com os participantes do projeto, enquanto são criados os protocolos para teste com pacientes.

A Engenharia Elétrica, atuando em conjunto com Design e Fisioterapia, tornou possível a construção do protótipo do equipamento que transforma várias ações individuais de Terapeutas ocupacionais num único dispositivo que deverá intensificar o tratamento aplicado aos pacientes em reabilitação.

REFERÊNCIAS

Almeida, Rodrigo M.; Moraes, Carlos H. and Seraphim, Thatyana. **Programação de Sistemas Embarcados – Desenvolvendo Software para Microcontroladores em Linguagem C**. 2016. Editora GEN-LTC. 1ª Ed.

Barreto, Bryan. **A Engenharia Elétrica a favor da vida**. *Jornal Pet-Elétrica*. 2018. Disponível em: <http://jornalpet.ee.ufcg.edu.br/materias/ed29_art1> Acesso em: 01 jun 2020.

Chamlian, T. R. **Medicina Física e Reabilitação**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

Cocian, Luis F. E. **Introdução à engenharia**. Porto Alegre: Bookman, 2017.

EDUCAMUNDO. **Tecnologia Assistiva: conceitos, recursos e cursos fundamentais**. 2018. Disponível em: <<https://www.educamundo.com.br/blog/curso-online-tecnologia-assistiva>> Acesso em: 01 jun 2020.

MACHADO, Glaucio M.; SOBRAL, Maria N. **Conexões: educação, comunicação, inclusão e interculturalidade**. 1 ed. Porto Alegre: Redes Editora, 2009.

National Semiconductor. **Low Power Quad Operational Amplifiers**. 1994. Disponível em: <<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/nationalsemiconductor/DS009299.PDF>>. Acesso em 28 maio 2020.

ONU BRASIL. **A ONU e as pessoas com deficiência**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/pessoas-com-deficiencia/>>. Acesso em: 29 maio 2020.

Rodrigues, Danillo; Gomes, Eurislaine; Reis, Roquicelmo. **A engenharia aplicada a saúde**. 2015. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/danillorodrigues566/a-engenharia-aplicada-a-sade>>. Acesso em: 01 jun 2020.

Tanenbaum, A. **Redes de Computadores**. São Paulo: Editora Pearson, 2006.

Tiede, Carlos M. **Acionamento de máquinas a partir de porta comunicação de computadores pessoais**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, Santa Rosa, 2016.

UNIJUÍ, Universidade do Noroeste do Estado do RS. BR 102017026434-3 A2. Inventores: JOHANN, D. M. W.; GROSSMANN, F. V.; RODRIGUES, M. F. **Cabine com simulador de ambiente para estímulo sensorial intensivo**. Int CIG09BD23/28. Int CIG06FD19/00. 06 dez 2017.

Vishay Semiconductors. **Optocoupler, Phototransistor Output, With Base Connection**. 2004. Disponível em: <<http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/vishay/83725.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2020.

OBTENÇÃO DE NANOFERRITA DE MANGANÊS PELO MÉTODO DE COMBUSTÃO EM SOLUÇÃO (SCS) PARA APLICAÇÃO EM BIONANOCOMPÓSITO

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 03/06/2020

Ana Clara Ferreira de Sousa

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
–UNIFESSPA, Faculdade de Engenharia de
Minas e Meio Ambiente. Marabá/PA
<http://lattes.cnpq.br/8425958562100410>

Débora Albuquerque Vieira

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
–UNIFESSPA, Faculdade de Engenharia de
Minas e Meio Ambiente. Marabá/PA;
<http://lattes.cnpq.br/513473001535070>

Mireli Tomazi Fidelis

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
–UNIFESSPA, Faculdade de Engenharia de
Minas e Meio Ambiente. Marabá/PA;
<http://lattes.cnpq.br/1378470841780273>

Anderson Souza Silva

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
–UNIFESSPA, Faculdade de Engenharia de
Minas e Meio Ambiente. Marabá/PA;
<http://lattes.cnpq.br/93036776024543324>

Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa

Universidade Federal de Campina Grande –
UFCCG, Unidade Acadêmica de Engenharia de
Materiais. Campina Grande/PB.
<http://lattes.cnpq.br/6309225172752964>

RESUMO: Os materiais cerâmicos, em especial as nanoferritas do tipo espinélio têm despertado grande interesse tecnológico e científico, devido

as suas propriedades elétricas, magnéticas e baixo custo. Suas propriedades podem ser manipuladas e, desta forma, amplamente modificada, de acordo com as necessidades. Recentemente, os compósitos magnéticos também vêm ganhando grande destaque no setor industrial devido as suas combinações de propriedades e vastas aplicações. Este trabalho tem por finalidade avaliar a produção de bionanocompósito magnético da casca da castanha do Pará/nanoferrita de Manganês pelo método de moagem, a nanoferrita de manganês ($MnFe_2O_4$) foi obtida pelo método de síntese de combustão em solução (SCS) dando origem a um material nanométrico. A estrutura do espinélio da nanoferrita de manganês, da castanha do Pará e do bionanocompósito obtido foram investigadas por difração de raios X, e FTIR e a morfologia por microscopia eletrônica de varredura. A nanoferrita obtida apresenta fase majoritária do espinélio $MnFe_2O_4$, e picos característicos de fase secundária da hematita (Fe_2O_3), o difratogramas da amostra da castanha do Pará, apresentou apenas uma banda alargada, caracterizando o material como amorfo, aspecto de composto orgânico. A característica estrutural do bionanocompósito apresenta os picos característicos da nanoferrita, bem como uma banda alargada entre 20° e 25° , mostrando a inserção das nanopartículas de nanoferrita na amostra da castanha do Pará. Observa-se que a fase secundária foi reduzida após o processo de moagem. As micrografias indicam a formação compósitos com elevada porosidade, e heterogeneidade morfológica.

PALAVRAS CHAVE: Bionanocompósito, Síntese, Castanha Do Pará, Nanoferrita De Manganês.

OBTAINING NANOFERRITE FROM MANGANESE BY SOLUTION COMBUSTION METHOD (SCS) FOR APPLICATION IN BIONANOCOMPOSITE

ABSTRACT: Ceramic materials, especially spinel-type nanoferrites, have aroused great technological and scientific interest, due to their electrical, magnetic and low cost properties. Its properties can be manipulated and, in this way, widely modified, according to the needs. Recently, magnetic composites have also been gaining prominence in the industrial sector due to their combinations of properties and wide applications. This work aims to evaluate the production of magnetic bionanocomposite from the peel of the Brazil nut / Manganese nanoferrite by the milling method, the manganese nanoferrite ($MnFe_2O_4$) was obtained by the method of combustion synthesis in solution (SCS) giving rise to a nanometric material. The spinel structure of the manganese nanoferrite, the Brazil nut and the bionanocomposite obtained were investigated by X-ray diffraction, and FTIR and the morphology by scanning electron microscopy. The nanoferrite obtained shows a major phase of the $MnFe_2O_4$ spinel, and peaks characteristic of the secondary phase of the hematite (Fe_2O_3), the diffractograms of the Pará nut sample, presented only an extended band, characterizing the material as amorphous, an organic compound aspect. The structural characteristic of the bionanocomposite presents the characteristic peaks of the nanoferrite, as well as an extended band between 20 θ and 25 θ , showing the insertion of the nanoferrite nanoparticles in the Pará nut sample. It is observed that the secondary phase was reduced after the milling process. The micrographs indicate the formation of composites with high porosity, and morphological heterogeneity.

KEYWORDS: Bionanocomposite, Synthesis, Brazil Nut, Manganese Nanoferrite.

1 | INTRODUÇÃO

As nanoferritas são óxidos de ferro cerâmicos que possuem boas propriedades magnéticas e são de extrema importância para o desenvolvimento industrial de alta tecnologia, estas são empregadas nos setores de telecomunicação, em dispositivos de armazenamento, em dispositivos médicos entre outros. Devido ao seu arranjo atômico, estas podem apresentar estrutura de cristalização do tipo espinélio, gama e hexagonal. As nanoferritas com estrutura cristalina do tipo espinélio apresentam fórmula genérica $MeFe_2O_4$, em que, Me é um metal divalente (KIM et al., 2011; CALLISTER JUNIOR, 2008; BEZERRA et al, 2010).

Dentre os diversos tipos de óxidos de ferro, a nanoferrita de manganês é um espinélio com estrutura cúbica que apresenta estrutura cristalina bastante estável e excelentes propriedades magnéticas (VERA SERNA et al., 2011). A nanoferrita de manganês ($MnFe_2O_4$) é considerada versátil e de maior significado devido à sua alta magnetização de saturação e baixa perda de energia em altas frequências (AHALYA et al., 2014). As ferritas de espinélio podem ser sintetizadas usando vários métodos, como rota hidrotérmica assistida (CHEN et al., 2015), Solvotérmico (CHELLA et al., 2015), sol-gel (BHOSALE et al., 2012), co-precipitação (HOUNG et al., 2018), método de combustão (ANGADI et al., 2016).

A síntese por reação de combustão aquosa tem sido utilizada na obtenção de diversos materiais, principalmente no processamento de pós nanométricos de nanoferrita com elevada área superficial e alto grau de pureza. Este método é autossustentável, após o início da reação atinge altas temperaturas, que garantem a cristalização e formação de pós em um curto período de tempo, com liberação de grandes quantidades de gases o que tende a minimizar o estado de aglomeração das partículas que se formam (NASCIMENTO et al., 2009; JAIN et al., 1981).

Atualmente, os materiais compósitos vêm sendo amplamente difundido e utilizado no setor industrial. Os materiais compósitos são constituídos de pelo menos dois componentes, com propriedades físicas e químicas distintas da sua composição. Quando unidos, estes componentes formam um compósito com propriedades difíceis de obter com um só material. As suas dimensões reduzidas conferem a eles uma série de propriedades físico-químicas peculiares que os diferem dos demais materiais, podendo ser aplicadas em diversas áreas, entre elas estão as embalagens de alimentos (YOUSSEF et al., 2018), biossensor. (LIU et al., 2016), e adsorção (HUANG et al., 2020). O processo de adsorção, dentre outros processos aplicados no tratamento de efluentes, apresentam um melhor custo benefício. Todavia, fatores como a afinidade entre o adsorvente e o adsorvato, quantidade de adsorvente utilizado, o tempo de contato, e o pH do meio afetam diretamente a eficácia dos mecanismos de adsorção. Além disso a viabilidade econômica para aplicação de um material adsorvente na remediação de efluentes contaminados está governada, entre outros fatores, pela possibilidade de reuso desses materiais, o que muitas vezes não é possível (LEMONS, 2015). Um fato bastante relevante acerca do compósito formados por materiais magnéticos, como exemplo, as nanoferritas, é que esse pode ser recuperado e poderá ser utilizado em um novo processo (CALLISTER e RETHWISCH, 2012).

Uma das barreiras à fabricação de compósitos é a afinidade química dos constituintes. Também o limite de solubilidade reduzido e a molhabilidade do soluto pelo solvente dependente fortemente da temperatura, podem contribuir para o aparecimento de segregações. Uma das técnicas efetivas para a produção de um compósito é a técnica de moagem de alta energia. Avanços recentes na produção de intermetálicos, cermets (compósitos cerâmica-metal), e materiais com reforço “in situ” têm criado potenciais aplicações, concorrendo com outros processos ou mesmo sendo a única rota alternativa de produção de materiais com a composição diversa da tabela periódica (BREITENBACH, 2012).

A moagem de alta energia é um meio pelo qual é possível produzir misturas homogêneas além de produzir também pós ultrafinos. (HEZHOU et al., 2008). Durante a moagem das misturas dos pós uma importante quantidade de deformação plástica das partículas é produzida, seguida por fratura, levando a um refinamento contínuo da microestrutura (BRITO et al., 2007).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo sintetizar a nanoferrita de manganês pelo método de reação de combustão em solução (SCS) e produzir o bionanocompósito casca da castanha do Pará/nanoferrita de manganês através do método de moagem de alta energia e caracterizá-los por Difração de Raio-X (DRX), espectroscopia vibracional na região do infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção do bionanocompósito, inicialmente foram preparadas a casca da castanha do Pará, usada como matriz e sintetizado os pós de nanoferrita de manganês. Os procedimentos foram realizados da seguinte maneira:

2.1 Preparação Da Casca Da Castanha Do Pará

A casca da castanha utilizada foi na forma “in natura”. Após a aquisição, as cascas foram quebradas, lavadas em água correntes e secas em estufa a temperatura de 60°C por 24 horas. Em seguida o material foi moído usando moinho de facas modelo NL-226/02 (NewLab, Brasil) de forma a reduzir o tamanho das partículas. Para obtenção de partículas uniforme, a granulometria da amostra foi definida em peneiras Tyler (Bertel, Brasil) com o tamanho das partículas de 200 mesh.

Após o peneiramento a biomassa obtida foi encaminhada para caracterização.

2.2 Síntese Dos Pós De Nanoferrita De Manganês

A formação da nanoferrita de manganês com composição nominal $MnFe_2O_4$ foi obtida com a mistura do nitrato metálico (agentes oxidantes) e combustível (agente redutor) de modo a formar uma solução redox. Como precursores para síntese da nanoferrita de manganês foram utilizados os nitratos de ferro III ($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$), nitrato de manganês ($Mn(NO_3)_2$) e como combustível foi utilizada a ureia (NH_2CONH_2), todos com pureza superior a 98%. A composição inicial da solução é baseada na valência total dos reagentes oxidantes e redutores utilizando a teoria dos propelentes e explosivos (JAIN *et al.*, 1981).

Os reagentes foram pesados e misturados com 30mL de água destilada. Para a síntese foi utilizado um reator de aço inox, (COSTA, A. *et al.*, 2012) como recipiente e uma resistência elétrica acoplada a uma placa cerâmica de resistência não controlada. Após a síntese, os pós formados foram macerados para a desagregação das partículas, resultando em um pó fino. Em seguida, peneirados para a uniformização do tamanho das nanopartículas utilizando uma peneira Tyler (Bertel, Brasil) com tamanho de partículas de 200 Mesh.

2.3 Obtenção Do Compósito Magnético Da Casca Da Castanha E A Nanoferrita De Manganês

O compósito casca da castanha do Pará/nanoferrita de manganês foi preparado através do processo de moagem por bolas modelo Q298-Quimis com volume do jarro de 3 litros. Foi adicionado no processo de formação do compósito 3 kg de esferas de alumina (aproximadamente 100 esferas com diâmetro de 3mm), na proporção, 2 gramas de nanoferrita de manganês e 10 gramas da casca da castanha. O tempo de moagem do compósito foi de 2h.

2.4 Caracterizações Da Nanoferrita De Manganês, Castanha Do Pará, Compósitos De 2 Horas

As amostras foram caracterizadas por Difração de Raios X (DRX), em um difratômetro BRUKER (modelo D2 Phaser, radiação Cu-K α), operando com tubo de alvo de cobre a uma tensão de 30,0 KV e 10,0 mA de corrente, com detector de 55D160. Para a determinação das fases existentes foi utilizado o software *HighScore* com os bancos de dados JCPDS e ICSD.

Também foram caracterizados por espectroscopia vibracional na região do infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), usando um espectrômetro 32 Agilent Technologies, modelo Carry 630. Os espectros foram obtidos com uma resolução de 4000 a 400 cm, com 20 varreduras cumulativas.

A morfologia das amostras obtidas, foram analisadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Para realização desta análise foi utilizado o microscópio de bancada Hitachi modelo TM 3000, operando a 15kV.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5 Difração De Raio X (Drx) E Micrografia Da nanoFerrita De Manganês

A Figura 1 ilustra os difratogramas de raios X da nanoferrita de manganês obtida por síntese de reação por combustão em solução, da casca da castanha do Pará e do compósito produzido

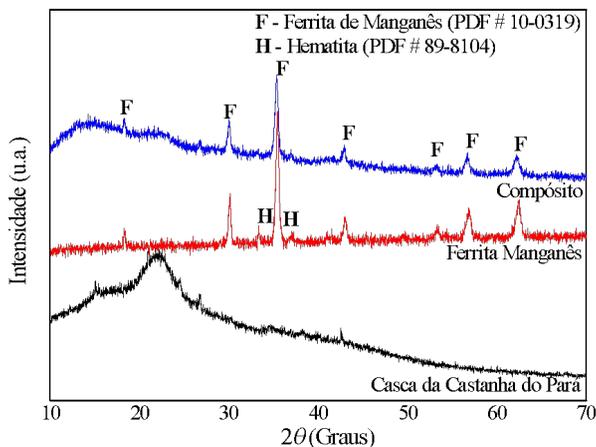


Figura 1 – Difratoograma de raios X da nanoferrita de manganês ($MnFe_2O_4$), da casca da castanha do Pará e do composto casca da castanha do Pará/nanoferrita de manganês

Na Figura 1 observa-se a formação da fase cristalina, apresentando uma estrutura espinélio cúbica da nanoferrita de manganês (ficha cristalográfica 10-0319) com uma estrutura cúbica do espinélio com grupo espacial $Fd\bar{3}m$. Esses picos apareceram em 2θ 30,11; 35,46; 43,00; 53,22 e 62,42, que correspondem às reflexões dos planos (220), (311), (400), (422) e (440) de cristais de nanoferrita de manganês. Além da fase majoritária com os picos pertinentes a nanoferrita de manganês, observa-se a presença de picos referentes a maior intensidade em 35° , além disso, observa-se também, a presença de picos referentes a fase secundária da hematita (Fe_2O_3). A presença da hematita pode ser justificada pela transferência de íons Fe^{3+} do sítio B para o sítio A na estrutura mista de espinélio das nanopartículas de $MnFe_2O_4$ (NASERI *et al.*, 2011).

Perfil semelhante foi averiguado por Muhammad e Khalida (2018), na síntese e caracterização de partículas uniformes da nanoferrita de manganês dopadas com Al para aplicações de alta frequência, obtidas por co-precipitação. Os autores observaram que a $MnAl_xFe_{2-x}O_4$, (com $x=0.0$), apresentou perfil totalmente amorfo, após calcinação a $1000^\circ C$ por 2h, observa-se a presença de fase secundária de hematita (Ficha cristalográfica 89-8104), e esta fase reduz a medida que aumenta a temperatura de processamento.

O tamanho de cristalito calculado para o pico de maior intensidade, que corresponde a família de planos {311}, da amostra de nanoferrita de manganês sintetizadas por reação de combustão em solução, foi de 29,19 nm, o que caracteriza o pó obtido como nanométrico.

De acordo com a Figura 1, é notório que o difratograma da amostra da casca da castanha apresenta característica amorfa, pois sua largura basal é elevada e não possui

picos que indicam cristalinidade na sua estrutura, caracterizando-a como matéria orgânica amorfa. No difratograma da amostra de nanoferrita é possível observar a fase cristalina desta com uma estrutura cúbica do espinélio. Além do mais, é possível observar também, a fase secundária de hematita (Fe_2O_3), no entanto, a presença desta fase é reduzida com o processo de moagem, na obtenção do compósito. Isto demonstra a formação do compósito pela inserção da nanoferrita na estrutura da casca da castanha.

Na Figura 2 encontram-se as micrografias da nanoferrita de manganês, da casca da castanha do Pará e do compósito produzido.

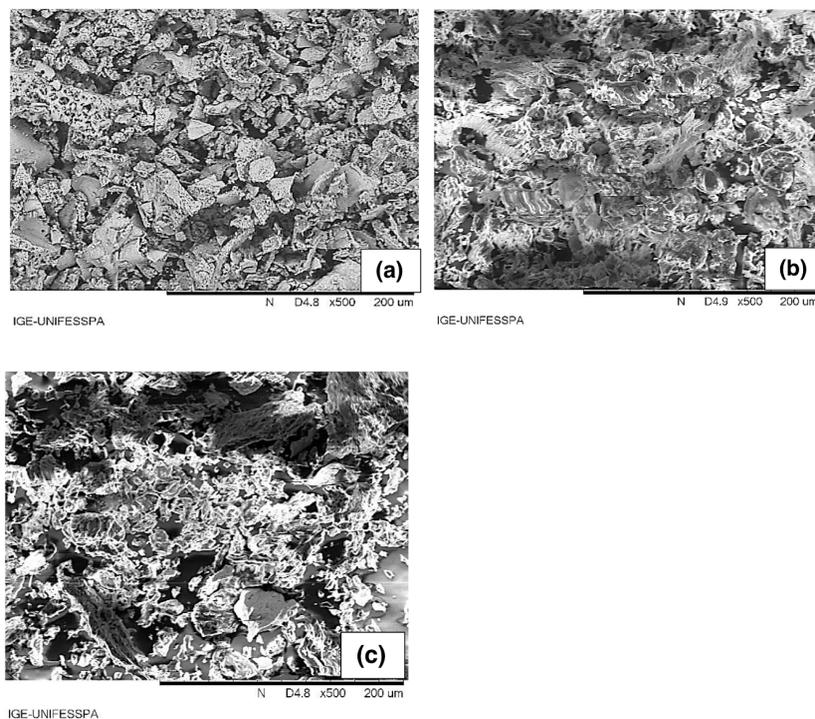


Figura 2 – Micrografias eletrônicas de varredura da nanoferrita de manganês (MnFe_2O_4) (a), da casca da castanha do Pará (b) e do compósito ferrita de manganês/casca da castanha do Pará (c)

A partir da Figura 2, observa-se que a nanoferrita de manganês obtida apresenta formação de aglomerados irregulares com estrutura densa, semelhante a flocos, variando em tamanhos, desde nanométricos até micrômetros. Além disso, observa-se também, a presença de porosidade entre os aglomerados.

É possível observa na micrografia da casca da castanha (Figura 2b), a presença de estrutura com elevada porosidade, ramificações fibrosas e irregularidade no tamanho

e formato da estrutura. Característica prevista de materiais lignocelulósicos. Na Figura 2c, do compósito da casca da castanha/nanoferrita de manganês, nota-se uma branda desintegração das partículas, provenientes do processo de moagem, aumentando assim a área da superfície externa e a porosidade. A característica predominante da casca da castanha impede observar a presença das partículas da nanoferrita de manganês.

Não foi encontrada agregação das nanopartículas. Portanto, o processo utilizado neste estudo é capaz de produzir compósitos de elevada homogeneidade.

A técnica de FTIR foi utilizada para determinar os grupos presentes na superfície da casca da castanha do Pará, da ferrita de manganês e do compósito.

A Figura 3 ilustra o FTIR da nanoferrita de manganês, da casca da castanha do Pará e do compósito produzido.

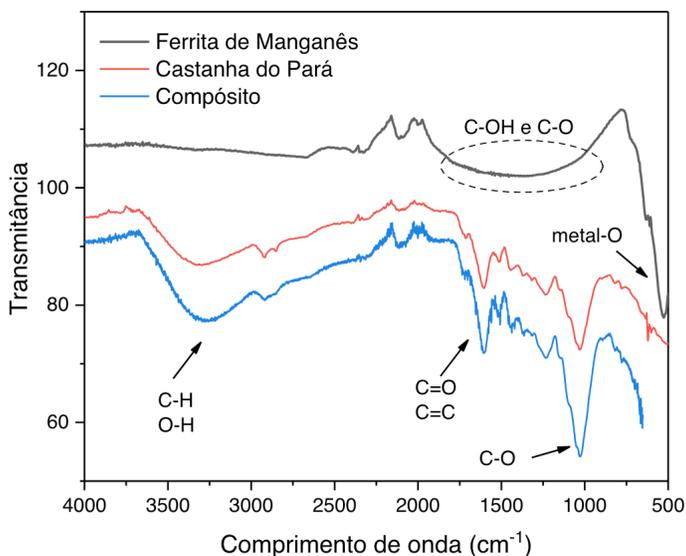


Figura 3 - Espectro de FTIR da nanoferrita de manganês, da casca da castanha do Pará e do compósito produzido.

Na Figura 3 mostra que existem picos em torno de 3400cm^{-1} e 2900cm^{-1} que indicam estiramento de O-H celulósico e estiramento de C-H, respectivamente. Os picos observados entre 1750 cm^{-1} a 1600 cm^{-1} mostram o estiramento C=O em ésteres alifáticos e estiramento simétrico de C=C, respectivamente. Os picos entre 1050 e 1350 cm^{-1} representam a banda C-O encontrada nos ésteres, fenol, éteres.

De acordo com a Figura 3, observa-se o alongamento de metal-O de Mn-O e Fe-O entre os picos 540 cm^{-1} e 480 cm^{-1} originárias de MnFe_2O_4 . Os picos entre 1540 cm^{-1} e 1110 cm^{-1} correspondem a estiramento de C-OH e C-O, respectivamente (WAN *et al.*,

2014). A região entre 800 cm^{-1} e 200 cm^{-1} são os mais importantes por se tratar de picos correspondentes à vibração de íons metálicos reticulados (SHAHRIN *et al.*, 2019).

É notório que não ocorreu modificação significativa dos grupos presentes na castanha do Pará, após moagem para produção do compósito. Os picos permanecem preservados.

4 | CONCLUSÃO

De acordo com os resultados foi possível constatar que o processo de síntese por reação de combustão em solução para a produção de nanoferritas de manganês, foi eficiente, sendo possível a obtenção de produto com razoável cristalinidade, indicando que a nanoferrita obtida possui característica nanométrica, como tamanho de cristalito calculado de 29,19 nm. A produção de bionanocompósito da casca da castanha do Pará/Ferrita de manganês foi apropriado, tendo em vista a obtenção de produto final caracterizando a presença da ferrita, indicando a inserção da nanoferrita obtida na casca da castanha, mantendo as características de ambos os componentes.

As características estruturais e morfológicas tanto dos pós da nanoferrita obtida, quanto do bionanocompósitos produzidos apresentam qualidades que contribuem diretamente nas propriedades finais, tornando o material obtido promissor em diversas aplicações, entre elas, catálise, adsorção, devido a sua estabilidade química e característica nanométrica.

REFERÊNCIA

AHALYA, K.; SURIYANARAYANAN, N.; RANJITHKUMAR, V. **Effect of cobalt substitution on structural and magnetic properties and chromium adsorption of manganese ferrite nano particles.** Journal of Magnetism and Magnetic Materials. v.372, p.208-213, 2014.

ANGADI, V.; RUDRASWAMY, B.; SADHANA, K., PRAVEENA, K. **Structural and magnetic properties of manganese zinc ferrite nanoparticles prepared by solution combustion method using mixture of fuels.** Journal of Magnetism and Magnetic Materials. v.409, p.115-115, 2016.

BARROS, T. S. **Influência do combustível na síntese por reação de combustão de ferritas Ni-Zn.** 2008, 89p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharias de Materiais), Centro de Ciências e Tecnologia, UFCG, Campina Grande, PB.

BEZERRA, D. C.; FERNANDES, P. C.; DE SILVA, T. R.; ARAÚJO, E. M.; COSTA, A. C. F. M. **Síntese de ferrita NiFe_2O_4 e a sua incorporação em compósito de poliamida 6 parte 1.** Polímeros. v.20(5), p. 389-394, 2010.

BHOSALE, R.R.; SHENDE, R.V.; PUSZYNSKI, J.A. **Thermochemical water-splitting for H_2 generation using sol-gel derived Fe-ferrite in a packed a bed reactor.** Int. J. Hydrogen Energy. v.37, p.2924-2934, 2012.

BONELLI, P.R.; DELLA ROCCA, P.A.; CERRELLA, E.G.; CUKIERMAN, A.L. **Effect of pyrolysis temperature on composition, surface properties and thermal degradation rates of Brazil nuts shells.** *Bioresource Technology*, v.76, n.1, p.15-22, 2001.

BREITENBANCH, É.R., **Obtenção de compósito de matriz AA2024 com dispersão de Al_4C_3 por moagem de alta energia.** 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais – Área: Metais). Universidade do Estado de Santa Catarina. Joinville, 2012.

BRITO, F.I.G.; MEDEIROS, K.F.; LOURENÇO, J.M. **Um Estudo Teórico Sobre a Sinterização na Metalurgia do Pó.** *Holos*. v.3, p.204-211, 2007.

CALLISTER JUNIOR, W. D. **Ciência e engenharia de matérias: uma introdução.** 7. Ed. Tradução de Sergio Murilo Stamile Soares. Rio de Janeiro: LCT, 2008. 705 p. Original em inglês.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução.** 2012. 8 ed. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2012. ISBN 978-85-216-2124-9.

COSTA, A. C. F. M.; KIMINAMI, R.H.G.A., **Dispositivo para produção de nanomateriais cerâmicos em larga escala por reação de combustão e processo contínuo de produção dos nano materiais. Depósito de patente, Revista de Propriedade Industrial – RPI**, depositada em 25/01/2012, nº BR 10 2012 002181-3)

COSTA, A.C.F.M.; MORELLI, M.R.; KIMINAMI, R.H.G.A. Ni-Zn ferrites: combustion reaction synthesis and sintering. *Cerâmica*, Volume 49, 2003, p. 133-140.

CHELLA, S.; KOLLU, P.; KOMARALA, E.V.P.R; DOSHI, M.; et al. **Solvothermal synthesis of $MnFe_2O_4$ -graphene composite-Investigation of its adsorption and antimicrobial properties.** *Applied Surface Science*. v. 327, p.27-36, 2015.

GUL, MUHAMMAD; AKHTAR, KHALIDA. **Synthesis and characterization of Al_doped manganese ferrite uniform particles frequency applications.** *Journal of Alloys and Compounds*. v.765,p. 1139-1147, 2018.

HOUNG, P.T.L.; TU, N.; LAN, H., et al. **Functional manganese ferrite/graphene oxide nanocomposites: effects of graphene oxide on the adsorption mechanisms of organic MB dye and inorganic As(v) ions from aqueous solution.** *RSC Advances*. v.8, p.12376-12389, 2018.

HUANG, X. *et al.* **Preparation of Clay/Biochar Composite Adsorption Particle for Ammonia Nitrogen Removal from Aqueous Solution.** *J. Ocean Univ. China*. v.19, p.729-739, 2020.

JAIN, S. R.; ADIGA, K.C.; VERNEKER, V.R.P. **A New Approach to Thermochemical Calculations of Condensed Fuel-Oxidizer Mixtures.** *Combustion and flame*. v.40, p.71-79,1981

KIM, J.-H.; KIM, S.-S. **Microwave absorbing properties of Ag-coated Ni-Zn ferrite microspheres prepared by electroless plating.** *Journal of Alloys and Compounds*. v. 509, p. 4399-4403, 2011.

LEMOS, B. R. S. **Compósitos magnéticos formados por estruturas carbonáceas sobre matrizes inorgânicas para tratamento de efluentes.** 2015. 130f. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais.

LIU, P.; BAI, F.Q.; WEILIN, D.; PINGPENG, H.; HU, Y.; ZHENG, L.; CHEN, W.; LINLIU, A.; HUALIN, X. **One-pot green synthesis of mussel-inspired myoglobin–gold nanoparticles–polydopamine–graphene polymeric bionanocomposite for biosensor application.** Journal of electroanalytical Chemistry. v.764, p.104-109, 2016.

MENG, Y., CHEN, D., SUN, Y., JIAO, D., et al. **Adsorption of Cu²⁺ ions using chitosan-modified magnetic Mn ferrite nanoparticles synthesized by microwave-assisted hydrothermal method.** Applied Surface Science. v.324,p.745-750, 2015.

NASCIMENTO, A.S., VIEIRA, D.A., SILVA, M.C., et al. **Obtenção de ferritas Ni-Zn por reação de combustão e método Pechini.** Revista Eletrônica e Materiais e Processos. v.4,p.26-31, 2009.

NASERI et al. **Synthesis and characterization of manganese ferrite nanoparticles by thermal treatment method.** Journal of Magnetism and Magnetic Material. v.323, p.1745–1749, 2011.

R. JAIN; C. ADIGA; P. VERNERKER. **A new approach to thermo chemical calculations of condensed fuel.** Combustion and flame. V.40, p.71-79,1981.

SHAHNIN, S.; LAU, W.-J.; GOH, P.-S.; ISMAIL, A. F.; JAAFAR, J. **Adsorptive mixed matrix membrane incorporating graphene oxide-manganese ferrite (GMF) hybrid nanomaterial for efficient As(V) ions removal.** Composites Part B: Engineering. v.107, p. 150, 2019.

WAN, J.; DENG, H.; SHI, J.; ZHOU, L.; SU, T. **Synthesized Magnetic Manganese Ferrite Nanoparticles on Activated Carbon for Sulfamethoxazole Removal.** CLEAN - Soil, Air, Water, 2014, 42(9), p. 1199–1207, 2014.

VERA SERNA, P. *et al.* **Mecanosíntesis y caracterización de ferrita de manganeso.** Superficies y Vacío. v.24(2), p.34-38, 2011.

YE, H. *et al.* **Fabrication of metal matrix composites by metal injection molding - A review.** Journal of Materials Processing Technology. v.200, p.12-24, 2008.

YOUSSEFA, M.A *et al.* **Bionanocomposites materials for food packaging applications: Concepts and future outlook.** Carbohydrate Polymers. v.193,p. 19-27, 2018.

TRATAMENTO DE METAIS PESADOS PRESENTES EM RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS POR ESTABILIZAÇÃO E SOLIDIFICAÇÃO EM MATRIZ DE CIMENTO

Data de aceite: 01/09/2020

Data de Submissão: 05/06/2020

Eder Saulo de Freitas Galindo

Universidade Federal de Campina Grande
Pesqueira – PE
<http://lattes.cnpq.br/4847128587761464>

André Luiz Fiquene de Brito

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande – PB
<http://lattes.cnpq.br/6217476906635491>

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo apresentar uma alternativa para o tratamento de metais pesados existentes em resíduos sólidos perigosos por meio da técnica de estabilização e solidificação utilizando como material estabilizante o cimento Portland comum. O planejamento experimental consistiu em três etapas: elaboração de corpos de prova com resíduos sólidos de laboratório contaminados com zinco e cádmio adotando concentrações de 0%, 10%, 30% e 45%, com tempos de cura de 7 e 28 dias, realização dos ensaios de resistência à compressão do material estabilizado, ensaio de pH e análise estatística dos dados. O aumento da concentração de resíduos tóxicos da matriz influenciou de forma significativa na redução da resistência física do material além de reduzir significativamente o pH do extrato dos corpos de prova. A resistência física dos materiais se apresentou maior no aumento do tempo de cura e no decréscimo da percentagem de %RSL.

Os valores obtidos no ensaio de integridade do material obtiveram valores acima de 1 MPa, apresentando-se dentro dos limites para materiais estabilizados por solidificação, e o pH das médias mostrou-se dentro da faixa esperada para precipitação dos metais.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização/solidificação, resíduos tóxicos, meio ambiente.

TREATMENT OF HEAVY METALS PRESENT IN HAZARDOUS SOLID WASTE BY STABILIZATION/ SOLIDIFICATION IN CEMENT MATRIX

ABSTRACT: This work aims to present an alternative for the treatment of heavy metals in hazardous solid waste by stabilization and solidification technique using as stabilizer material the common Portland cement. The experimental design consisted of three steps: elaboration of specimens with laboratory solid residues contaminated with zinc and cadmium adopting concentrations of 0%, 10%, 30% and 45%, with curing times of 7 and 28 days, performance of compressive strength tests of the stabilized material, pH test and statistical analysis of the data. The increase in the concentration of toxic matrix residues had a significant influence on the reduction of the material physical resistance and significantly reduced the pH of the specimen extract. The physical strength of the materials was higher by increasing the cure time and reducing the %RSL percentage. The values obtained in the material integrity test obtained values above 1 MPa, within the limits for materials stabilized by solidification, and the pH of the averages was within the expected range for metal precipitation.

KEYWORDS: Stabilization/solidification, toxic waste, environment.

1 | INTRODUÇÃO

A crescente industrialização nas últimas décadas têm desencadeado um aumento na geração de resíduos sólidos, dessa forma, têm-se criado uma preocupação em relação ao tratamento e destinação dos mesmos. Outro setor que possui relação direta com sociedade promovendo a formação de pessoas e participando do desenvolvimento social e econômico do país são as universidades, que geram quantidades significativas de resíduos sólidos perigosos, dessa forma, se descartados de forma irregular sem tratamento adequado os riscos de contaminação ambiental podem ser intensificados. A geração de resíduos perigosos, aliado à inexistência de um programa de gerenciamento, tem sido a principal causa da contaminação dos solos por esses materiais, e quando em contato com o ser humano pode comprometer inúmeras funções vitais devido ao potencial tóxico desses contaminantes (MAHMOOD et al., 2019). Neste contexto, os resíduos sólidos contendo cádmio e zinco em quantidades acima dos limites estabelecidos são classificados como classe I, ou seja, perigosos (ABNT NBR 10.004, 2004a). Metais pesados são altamente resistentes a degradação química ou biológica, geralmente são liberados sob formas elementares, tanto em compostos orgânicos e inorgânicos (KHALID et al., 2017).

O zinco quando em quantidades elevadas pode-se acumular no organismo e ser prejudicial, está presente no lodo gerado na indústria galvânica, bem como em resíduos de laboratório (PEREZ, 2017). O cádmio é um elemento não essencial para organismos vivos, pode causar danos agudos ao sistema respiratório e é cancerígena mesmo em baixas concentrações, além de que se descartado no solo, pode prejudicar processos fisiológicos e metabólitos de plantas e contaminar lençóis freáticos. (MAHMOOD et al., 2019).

A estabilização por solidificação (E/S) tem sido utilizada há mais de 50 anos como alternativa para o tratamento resíduos sólidos perigosos (CONNER, 1990; SPENCE e SHI, 2010; LIU et al., 2018). A técnica de E/S é empregada como opção de pré-tratamento ou tratamento propriamente dito de resíduos que não podem ser eliminados, reduzidos, reciclados ou utilizados no meio ambiente em que foram gerados (STEGEMANN; BUENFELD, 2003).

Os materiais utilizados como aglomerantes para E/S dividem-se em: material inorgânico como cimento e material pozolânico, e orgânico utilizando polímeros e termofixantes (BRITO; SOARES, 2009). A utilização do cimento Portland como aglomerante torna a técnica rentável, devido a alta disponibilidade no mercado e baixo preço, além de possuir fácil implementação e alta eficiência, valorizando o custo benefício do processo. (SPENCE e SHI, 2010; LIU et al., 2018).

A (E/S) é capaz de reduzir a mobilidade de um resíduo perigoso ao introduzi-lo em uma matriz sólida, em que o aglomerante pode ou não reagir quimicamente com os resíduos, apesar de mantê-lo fixo no material solidificado (PINTO, 2005). A técnica está relacionada com a retenção e imobilização do resíduo na matriz cimentícia, promovendo

aumento na resistência física do material e transformação desse resíduo em uma forma menos solúvel, menos tóxica e com um menor potencial de lixiviação. A disposição do material tratado é fundamental, desde que esse possua uma baixa permeabilidade e lixiviação, e propriedades que tornem o material apropriado para descarte (SPENCE e SHI, 2010; GUO et al., 2017; PRAKASH;GOWTHAM, 2018).

De acordo com Al-Tabbaa e Perera (2005), o processo de conversão dos cátions metálicos na estrutura da matriz cimentícia é promovido pelo pH alcalino do cimento ao ser hidratado e os resíduos são convertidos em óxidos, hidróxidos e carbonatos insolúveis. Pan et al., (2018) reduziu o potencial de lixiviação de um material orgânico contaminado com chumbo utilizando cimento Portland na técnica de E/S.

As etapas de hidratação levam à compactação da pasta reduzindo a distância entre os grãos e aumentando a viscosidade, e o contaminante é incorporado na estrutura do silicato de cálcio hidratado (C-S-H), possuindo fórmula molecular $\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (Wiesława et al., 2015; BATES; HILLS, 2015; LI et al., 2018; Wang, Han e Mu, 2018).

O metal pesado ao entrar em contato com a composição da fase líquida provoca um distúrbio, desde que o espaçamento entre os grãos do cimento é modificado, a precipitação e nucleação do silicato de cálcio hidratado é alterada, formando um novo composto modificado de metal pesado (Wiesława et al., 2015). Vespa et al., (2014) analisou potenciais localizações para que os metais pesados pudessem ocupar na estrutura do silicato de cálcio hidratado (C-S-H), na figura 1 é possível observar como se comporta essa estrutura. Chen et al., (2011) avaliou que para uma maior eficiência na precipitação de metais pesados em hidróxido de cálcio a faixa de pH ideal estava em uma faixa de 9 a 11, onde existia uma menor quantidade dos íons de cálcio e que causou uma redução significativa concentração de metais em águas residuais contaminadas com Zn^{2+} e Cd^{2+} .

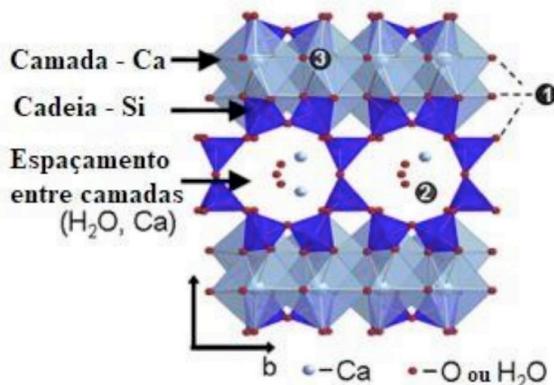


Figura 1 – Estrutura aproximada do C-S-H e possíveis localizações ocupadas por metais pesados.

Fonte: Vespa et al., (2014)

Ziegler e Johnson (2001) sugerem uma possível localização para íons Zn^{2+} , que em baixas concentrações possuem a tendência de serem incorporados na região (2). De acordo com o estudo de Tao et al., (2019), o zinco ocupa preferencialmente os sítios de cálcio ao invés dos sítios de silício pelo fato dos íons Zn^{2+} apresentarem mais similaridades de estruturas eletrônicas aos íons de cálcio. Esse trabalho tem como objetivo incorporar resíduos sólidos perigosos contaminados com zinco e cádmio em matriz de cimento, avaliar as características físicas e químicas dos materiais resultantes do tratamento usando a estabilização por solidificação.

2 | METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Gestão Ambiental e Tratamento de Resíduos (LABGER), pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Química (UAEQ), localizada no Centro de Ciências e Tecnologia (CCT), na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), na cidade de Campina Grande, no Estado da Paraíba, Brasil.

3 | DESENVOLVIMENTO

O planejamento experimental consiste em um plano de pesquisa no qual o pesquisador controla e/ou manipula as variáveis do processo. O objetivo é obter informações suficientes com o menor número de ensaios possíveis e analisar se os dados obtidos são compatíveis com o projeto experimental.

Para avaliar a E/S foram elaborados corpos-de-prova contendo resíduos sólidos de laboratório (RSL) contendo cádmio e zinco que foram recolhidos nos laboratórios de química analítica pertencentes a UAEQ/UFCG, aglomerantes e água. Segundo MALAVOLTA (1994), zinco e cádmio são considerados contaminante da água, do solo e alimentos, além de ser causador de diversos tipos de poluição.

Foi utilizado como aglomerantes, o cimento Portland comum, de acordo com o site do *ScienceDirect*, utilizando as palavras *stabilization* e *solidification* os dois mais importantes aglomerantes utilizados na E/S são respectivamente o cimento (87,65%) e o hidróxido de cálcio (13,58%) (ScienceDirect, 2016). A escolha dos aglomerantes foi em função do grande uso para tratar resíduos perigosos. A tabela 1 mostra as massas dos aglomerantes destacando o cimento Portland comum, resíduo sólido de laboratório, areia, brita e água. Foi usado quatro composições diferentes: 0%, 10%, 30%, 45%, e os experimentos foram em triplicata. Neste trabalho foram utilizados dois fatores: Percentual de resíduo sólido de laboratório (%RSL), e o tempo de cura de 7 e 28 dias. As respostas avaliadas foram: Resistência a Compressão (RC) e pH do extrato dos materiais estabilizados por solidificação.

% de RSL (Fator)	Massa de RSL(g)	Massa de Cimento(g)	Massa de Areia(g)	Massa de Brita(g)	Volume de Água (mL)
0	0	75	262,5	112,5	60
10	7,5	75,0	255,0	112,5	60
30	22,5	75,0	240,0	112,5	60
45	33,8	75,0	228,8	112,5	60

Tabela 1 - Massa e percentual das composições

Fonte: Próprio autor (2018)

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) para verificar se existe efeito significativo entre a percentagem de RSL e as variáveis respostas.

A Tabela 2 mostra a saída computacional do *Minitab18.1*, para a análise de variância.

Fonte	G.L	Soma do Quadrado (SQ)	Quadrado Médio (QM)	Valor F	Valor ^p e p ²
Regressão	1	SQR	QMR	QMR/QME	-
Resíduo	n-2	SQE	QME	-	
Total	n-1	SQT	-	-	

Tabela 2: Análise de variância (ANOVA).

Valor p^1 : Significativamente diferente ($p \leq 0,05$); 2 Não significativo ($p > 0,05$); n: Número de observação.

Fonte: MINITAB 18.1 (2017).

Os corpos-de-prova foram preparados seguindo as etapas propostas pela ABNT NBR 7215/1996 e utilizando também o protocolo de avaliação de materiais E/S (BRITO, 2007).

4 I ENSAIO DE INTEGRIDADE DO MATERIAL E/S

Foi realizado ensaio de resistência à compressão de acordo com a norma da ABNT NBR 7215 (1997), a figura 2-C mostra o equipamento para realização do teste. Os corpos de prova foram postos diretamente sobre o prato inferior de uma prensa de maneira que ficou rigorosamente centrado em relação ao eixo de carregamento, logo após foi aplicada uma força para avaliar qual a pressão máxima exercida pelo equipamento para provocar a quebra do material.

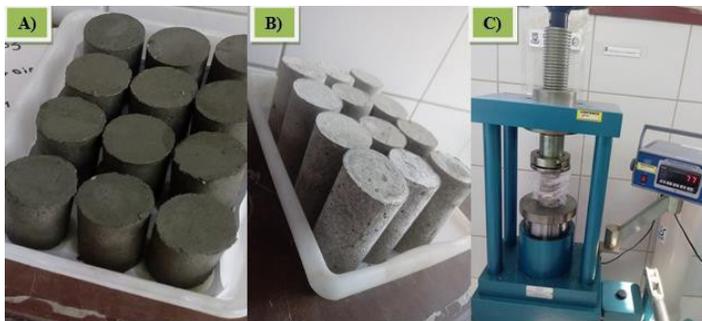


Figura 2 – Corpos de prova após 7 (A) e 28 (B) dias de cura e prensa (C)

Fonte: Próprio autor (2018)

5 | ENSAIO DE PH

O teste de pH é comumente utilizado para expressar o grau de acidez ou basicidade da amostra, essa determinação se faz preferencialmente a partir do material colhido e com sua umidade natural. Foi utilizado o método eletrométrico para determinação dos valores de pH das amostras que foram recolhidas após o ensaio de resistência a compressão. Os procedimentos analíticos foram realizados de acordo com o procedimento da APHA (2002).

6 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados finais estão apresentados em relação aos testes de pH e resistência à compressão dos corpos de provas estabilizados por solidificação. A caracterização do resíduo sólido de laboratório coletado nos laboratórios de química analítica pertencentes a Unidade Acadêmica de Engenharia Química (UAEQ) da UFCG através do ensaio de lixiviação está disponível na tabela 3. O resíduo bruto após o teste apresentou concentrações de 397 e 109 mg.L^{-1} , para zinco e cádmio, respectivamente, caracterizando-o como um resíduo classe I (perigoso) de acordo com a NBR 10.004 e 10.005 de 2004.

Metal	RSL Valor (mg.L^{-1})	Limite Máximo Permissível (LMP) (mg.L^{-1})	Limite Máximo Permissível (LMP) (mg.kg^{-1})
Zinco (2)	397	5	100
Cádmio (1)	109	0,5	10

Tabela 3 – Teor de metais pesados: Extrato Lixiviado do RSL

1-Parâmetros e limites máximos no extrato lixiviado e solubilizado conforme recomendação da ABNT NBR 10004 (2004a), ABNT NBR 10005 (2004b) e ABNT NBR 10006 (2004c). 2- Valores sugeridos pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) - Portaria Nº 195 de 2005 (CETESB, 2005). Fonte: LABGER (2018).

7 | TESTE DE PH

A tabela 4 e 5 mostram os valores de pH do extrato dos corpos de prova de acordo com a variação na %RSL, o ensaio foi realizado para o tempo de cura de 7 e 28 dias.

%RSL	pH (1)	pH (2)	pH (3)	Média
0%	12,29	12,28	12,31	12,30
10%	11,86	11,76	11,74	11,79
30%	11,64	11,24	11,28	11,39
45%	10,87	10,83	10,86	10,85

Tabela 4 – Valores de pH para 7 dias de cura.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

%RSL	pH (1)	pH (2)	pH (3)	Média
0%	11,0	11,04	11,02	11,02
10%	10,7	10,87	11,04	10,87
30%	10,75	10,67	10,65	10,69
45%	10,47	10,36	10,49	10,44

Tabela 5 – Valores de pH para 28 dias de cura.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

De acordo com os valores da tabela 4 e 5, é possível observar que ao aumentar a percentagem de contaminantes, os valores de pH diminuem. A diminuição do pH com o aumento na concentração de metais pesados relaciona-se com as reações de precipitação dos metais, já que os hidróxidos de metais precipitados removem os íons hidroxilas das proximidades, provocando a queda de pH. A eficiência sob qual os cátions são transformados é influenciada pelo tempo de cura, já que as principais reações de estabilização ocorrem nos primeiros 7 dias e se estendem até os 28 (LEE et al., 2002; PAN et al., 2018).

8 | ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE PH

Foi realizada uma análise de variância (ANOVA) através do software Minitab 18.1 (2017) para analisar se há diferença significativa entre as médias das composições e o teste de Tukey para avaliar quais médias diferem entre si, dados da tabela 4 e 5. O resultado do teste estatístico para verificar se há diferença entre a distribuição dos valores de pH em relação aos fatores %RSL e tempo se encontram na tabela 6.

Fonte	G.L	Soma do Quadrado (SQ)	Quadrado Médio (QM)	Valor F	Valor P
%RSL	3	4,4619	1,48732	46,91	0,000
Tempo (Dias)	1	2,6004	2,60042	82,01	0,000
%RSL*Tempo	3	0,9797	0,30323	9,56	0,000
Erro	16	0,5073	0,03171	-	
Total	23	8,4794	-	-	

Tabela 6 – Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta pH.

*($p \leq 0,05$): Significativamente diferente ao nível de 5% de probabilidade; ($p > 0,05$): Não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

FONTE: Minitab 18.1 (2017).

Utilizando 5% de significância, o valor P apresenta um valor ($p \leq 0,05$) para os fatores %RSL, tempo e a interação entre ambos, indicando que existe diferença significativa entre os valores da variável resposta pH. Além disso, para verificar quais grupos diferem entre si o teste de comparação múltipla (Tukey) se encontra na tabela 7 e para a interação RSL*Tempo, na tabela 8.

%RSL	N	Média	Agrupamento	Tempo	N	Média	Agrupamento (Dias)
0	6	11,6567	A	7	12	11,580	A
10	6	11,3283	B	28	12	10,755	B
30	6	11,0383	C				
45	6	10,6467	D				

Tabela 7 – Teste de comparações múltiplas para os fatores %RSL e Tempo (Tukey).

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Minitab 18.1 (2017).

De acordo com o resultado do teste de Tukey observa-se que o pH do extrato nas concentrações: 0%, 10%, 30% e 45% e nos tempos de 7 e 28 diferem significativamente entre si, já que não há compartilhamento de letras entre os grupos, indicando que o aumento da percentagem de resíduo sólido perigoso contendo Cd^{2+} e Zn^{2+} e no tempo de cura da matriz solidificada possui influência na variação do pH.

%RSL	*Tempo	N	Média	Agrupamento
0	7	3	12,2933	A
10	7	3	11,7867	B
30	7	3	11,3867	C
0	28	3	11,0200	D
10	28	3	10,8700	D E
45	7	3	10,8533	D E
30	28	3	10,6900	E F
45	28	3	10,4400	F

Tabela 8 – Teste de comparações múltiplas para a interação %RSL*Tempo com resposta pH (Tukey).

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Minitab 18.1 (2017).

Foi possível observar que o valor da média diminuiu a medida que a concentração aumentava, assim como com o aumento do tempo de cura do material. Avaliando os pares [0 7]~[0 28] e [45 7]~[45 28], o primeiro par verifica-se a diminuição de pH com o aumento no tempo de cura, no segundo par, a diminuição de pH devido ao aumento de %RSL. O gráfico 1 mostra a relação dos dois fatores com a variável resposta.

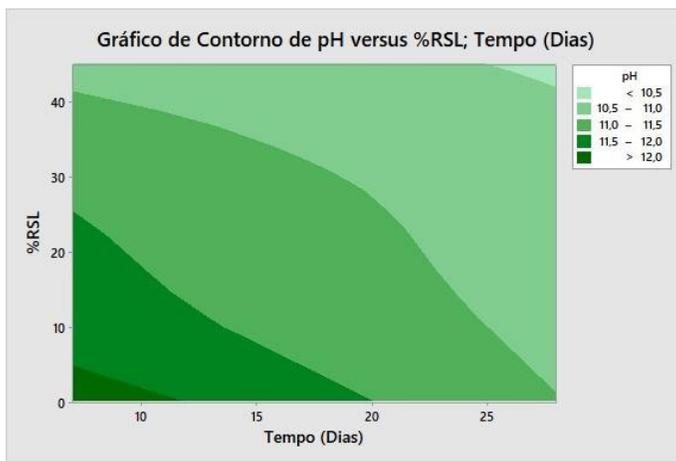


Gráfico 1 - Relação entre a variável resposta pH e os fatores %RSL;Tempo

Fonte: Minitab 18. (2018)

9 I ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Os valores relacionados ao teste de resistência a compressão nos corpos de prova com tempo de cura de 7 e 28 dias estão disponibilizados na tabela 9 e 10 respectivamente.

%RSL	RC (MPa) (1)	RC (MPa) (2)	Rc (MPa) (3)	Média (MPa)
0%	7,5788	7,8436	6,3498	7,25
10%	6,6696	5,2557	6,5547	6,16
30%	2,0283	1,7686	2,0383	1,94
45%	0,9942	1,4738	1,3139	1,26

Tabela 9 – Valores de resistência à compressão em 7 dias de cura

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

%RSL	RC (MPa) (1)	RC (MPa) (2)	RC (MPa) (3)	Média (MPa)
0%	7,76370	6,15498	7,66875	7,20
10%	5,54548	5,42058	6,76448	5,91
30%	5,24071	4,85604	4,73114	4,94
45%	1,69362	2,50795	1,63866	1,94

Tabela 10 – Valores de resistência à compressão em 28 dias de cura

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2019).

Os valores de resistência à compressão nos tempos de 7 e 28 dias mostram que o tempo de cura é um fator que pode influenciar na resistência da massa cimentícia. Foi possível observar que ao aumentar a concentração dos contaminantes a tendência do corpo solidificado foi ter a sua resistência física reduzida. Wang, Han e Mu (2018) e Muhammad et al., (2018) observaram que o aumento da concentração de metais pesados reduziu a resistência à compressão da matriz solidificada. Pan et al. (2018) verificou que as reações decorrentes do processo de hidratação do cimento para tratar solo contaminado por metal pesado se tornaram mais frequentes com o aumento do tempo de cura.

De acordo com Brito (2007), os limites máximos permissíveis relacionados a resistência à compressão para um material E/S é ≥ 1 MPa, e um material solidificado quando $\geq 0,8$ MPa, além disso os materiais que obtiveram resistência acima de $\geq 0,9$ podem ser utilizados como material termoplástico, e os que obtiveram entre 1,5 – 4 MPa podem ser utilizados como tijolos maciços. Dessa forma apenas a repetição 1, de 45% RSL e 7 dias de cura, apresentou-se como material solidificado, todas as outras repetições foram aprovadas no teste de resistência à compressão como material estabilizado por solidificação.

10 | ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA RESULTADOS DE RC

Utilizando o software Minitab 18.1 (2017), foi realizada a ANOVA e o teste de Tukey utilizando os fatores tempo e %RSL para verificar se existe diferença significativa ao nível de 5% de significância entre as médias das composições dos resultados de resistência à compressão. Os resultados das análises estão disponibilizados na tabela 11 e 12.

Fonte	G.L	Soma do Quadrado (SQ)	Quadrado Médio (QM)	Valor F	Valor P
%RSL	3	115,626	38,5421	102,49	0,000
Tempo (Dias)	1	4,265	4,2646	11,34	0,004
%RSL*Tempo	3	10,019	3,3396	8,88	0,001
Erro	16	6,017	0,3761		
Total	23	135,927	-	-	

Tabela 11 – Análise de variância (ANOVA) para a variável resposta RC

*($p \leq 0,05$): Significativamente diferente ao nível de 5% de probabilidade; ($p > 0,05$): Não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

Fonte: Minitab 18.1 (2017).

Avaliando o valor P obtido para os fatores de %RSL, tempo e interação ($P \leq 0,05$), o teste mostra que existe diferença significativa na redução da resistência à compressão em relação aos três fatores.

%RSL	N	Média	Agrupamento	Tempo	N	Média	Agrupamento (Dias)
0	6	7,22660	A	28	12	4,99884	A
10	6	6,03509	B	7	12	4,15578	B
30	6	3,44385	C				
45	6	1,60369	D				

Tabela 12 – Teste de comparações múltiplas para %RSL e tempo com resposta RC (Tukey)

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Minitab 18.1 (2017).

Analisando os resultados obtidos no teste de Tukey na tabela 12, há diferença significativa na variável resposta entre todas as concentrações de %RSL e nos tempos de cura de 7 e 28 dias. Na tabela 13 está o resultado do teste de comparações múltiplas para a interação %RSL*Tempo.

%RSL	*Tempo	N	Média	Agrupamento	
0	7	3	7,25740	A	
0	28	3	7,19581	A	
10	7	3	6,16000	A	B
10	28	3	5,91018	A	B
30	28	3	4,94263		B
45	28	3	1,94675		C
30	7	3	1,94507		C
45	7	3	1,26063		C

Tabela 13 – Teste de comparações múltiplas para %RSL*Tempo (Tukey)

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Minitab 18.1 (2017).

É possível observar que o fator %RSL*Tempo não apresenta diferença significativa quanto a resistência à compressão em: [0 7]~[0 28], [10 7]~[10 28], [45 7]~[45 28]. Mas apresentam diferença significativa os fatores [30 7]~[30 28]. Através do gráfico 2 gerado pelo Minitab 18.1, pode-se verificar a influência dos fatores %RSL e tempo na variável resposta RC, a região de menor concentração de resíduos no maior tempo de cura, apresenta maior resistência à compressão..

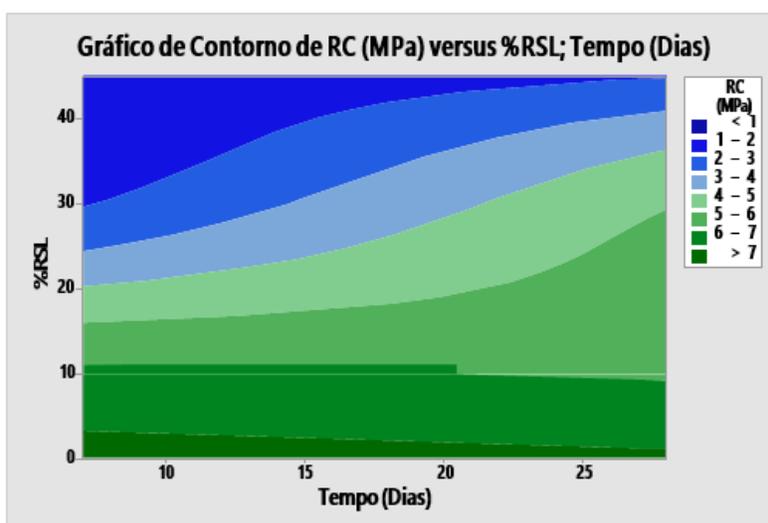


Gráfico 2 – Relação entre a variável resposta RC e os fatores %RSL;Tempo

Fonte: Minitab 18. (2018)

11 | CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos nos testes de pH e resistência à compressão dos materiais estabilizados por solidificação utilizando resíduo sólido de laboratório pode-se concluir que:

1. A utilização do cimento Portland comum como aglomerante tornou o procedimento viável, tanto pelo baixo custo e disponibilidade quanto pela influência no método da E/S de resíduos tóxicos.
2. O aumento na concentração dos resíduos contendo zinco e cádmio influenciou de forma significativa na diminuição do pH do extrato, e na redução da resistência física do material, bem como o aumento no tempo de cura dos corpos de prova houve redução no pH e aumento da resistência física dos materiais. O pH das médias apresentou-se dentro da faixa desejada para precipitação dos metais zinco e cádmio com o hidróxido de cálcio.
3. Os valores de resistência à compressão dos corpos de prova (com exceção de apenas uma repetição de concentração 45%) se apresentaram acima do valor limite para materiais estabilizados por solidificação antes de imersão em água, em que de acordo com Brito (2007) esse valor é ≥ 1 MPa.

REFERÊNCIAS

AL-TABBAA, A; PERERA, A.S.R. Beyond conventional stabilisation/solidification. In: AL-TABBAA, A; STEGEMANN, J. **Stabilisation/Solidification Treatment and Remediation**. London: A.A. BALKEMA PUBLISHERS, 2005. p.367-369.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: APHA, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - *ABNT NBR 10.004*:

Resíduos Sólidos - Classificação. CENWin, Versão Digital, ABNT NBR 10.004, 71p, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA - *ABNT NBR 7215*: **Cimento**

Portland: Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 8p, 1996.

BATES, Edward ; HILLS, Colin. **Stabilization and Solidification of Contaminated Soil and Waste: A Manual of Practice**. Hygge Media: [s. n.], 2015.

BRITO, A.L.F.; SOARES, S.R. Avaliação da integridade e da retenção de metais pesados em materiais estabilizados por solidificação. **Eng Sanit. Ambient.** v.14, p.39- 48, 2009.

BRITO, A.L.F. **Protocolo de avaliação de materiais resultantes da estabilização por solidificação de resíduos**. 2007. 179 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – UFSC, Florianópolis, 2007.

CHEN, Z.; ZHANG, J.; HUANG, L.; YUAN, Z.; LI, Z.; LIU, M. Removal of Cd and Pb with biochar made from dairy manure at low temperature. **Journal of Integrative Agriculture**. China: Elsevier. p. 201-210. 2019.

- CHEN, B.; QU, R.; SHI, J.; LI, D.; WEI, Z., YANG, X.; WANG, Z. Heavy Metal and Phosphorus Removal from Waters by Optimizing Use of Calcium Hydroxide and Risk Assessment. **Environment and Pollution. Environment and Pollution**. v.1. p. 38-54. 2011.
- CONNER, J.R. **Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes**. New York. Van Nostrand Reinhold, 1990. 692p.
- GUO, B.; LIU, B.; YANG, J.; ZHANG, S. The mechanisms of heavy metal immobilization by cementitious material treatments and thermal treatments: A review. **Journal of Environmental Management**. China: Elsevier.p. 410–422. 2017.
- HINES, W. W.; MONTGOMERY, D. C.; GOLDSMAN, D. M.; BORROR, C. M. **Probabilidade e estatística na engenharia**. Rio de Janeiro: LTC, 2006. p. 642.
- KHALID, S; SHAHID, M; NIAZI, N.K; MURTAZA, B; BIBI, I; DUMAT, C. A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils. **Journal of Geochemical Exploration**. Pakistan: Elsevier. p. 247-268. 2017.
- LEE, W. K. W.; van Deventer, J. S. J. The effect of ionic contaminants on the early- age properties of alkali-activated fly ash-based cements. **Cement and Concrete Research**, v. 32 (4), p. 577–584. 2002.
- LI, J.-S.; WANG, L.; Cui, J.-L.; POON, C. S.; BEIYUAN, J.; TSANG, D. C. W.; LI, X.-D. Effects of low-alkalinity binders on stabilization/solidification of geogenic As- containing soils: Spectroscopic investigation and leaching tests. **Science of The Total Environment**, p.631-632, p.1486–1494. 2018.
- LIU, L; LI, W; SONG, W; GUO, M. Remediation techniques for heavy metal- contaminated soils: Principles and applicability. **Science of total environment**. 633. p. 206-219. 2018.
- MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: Micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos**. São Paulo: Produquímica, p.153. 1994.
- MAHMOOD, Q; ASIF, M; SHAHEEN, S; TAHIR HAYAT, M; ALI, S. Cadmium Contamination in Water and Soil. In: HASANUZZAMAN, M.; NARASIMHA VARA MINITAB Inc. **Statistical Software Data Analysis Software**. Version 18.1, 2017
- MONTGOMERY, D.C; RUNGER, G.C. **Estatística Aplicada e probabilidade para Engenheiros**. 2ª Ed. LTC Editora. São Paulo, 2003, 463p.
- MONTGOMERY, D.E. Introduction to Statistical Quality Control. Sixth edition New York: John Wiley and Sons, 2008.
- MUHAMMAD, F.; HUANG, X.; LI, S.; XIA, M.; ZHANG, M.; LIU, Q.; LI, D. Strength evaluation by using polycarboxylate superplasticizer and solidification efficiency of Cr^{6+} , Pb^{2+} and Cd^{2+} in composite based geopolymer. **Journal of Cleaner Production**, v. 188, p. 807–815. 2018.
- PRASAD, M.; FUJITA, M. **Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants**. Ed.1. Bangladesh: Academic Press. 2019. Cap. 6. p. 141-161. v.1.

PAN, Y.; ROSSABI, J.; PAN, C.; XIE, X. Stabilization/Solidification Characteristics of Organic Clay Contaminated by Lead When Using Cement. **Journal of Hazardous Materials**, v. 362. p. 132-139. 2018.

PEREZ, I. A., **Avaliação do potencial de encapsulamento de um solo contaminado com cloreto de zinco através da adição de cal e cimento**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio de Janeiro, 2017.

PINTO, C.A. **Estudo da estabilização por solidificação de resíduos contendo metais pesados**. 2005. 229f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2005. 55p

PRAKASH, R.; SIDDHARTH, R.; GUNASEKAR, N. Cracking of Toxic Waste: Toxic Waste: Identification and Classification. In: BARIK, Debabrata. **Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation**. 1. ed. Índia: Woodhead Publishing Series In Energy, 2018. cap. 10, v. 1. p. 139-149.

PRAKASH, R.; GOWTHAM, M. Hazardous Waste and Its Treatment Process: Hazardous Waste Treatment. In: BARIK, Debabrata. **Energy from Toxic Organic Waste for Heat and Power Generation**. 1. ed. India: Woodhead Publishing Series In Energy, 2018. cap. 10, v. 1. p. 119-138.

ROY, A; STEGEMANN, Nickel speciation in cement-stabilized/solidified metal treatment filtercakes. **Journal of Hazardous Materials**. v.321,p. 353–361. 2017.

STEGEMANN, J.A; BUENFELD, N.R. Predication of unconfined compressive strength of cement paste containing industrial wastes. **Wastes Management**. v.23, p.321-332, 2003.

SCIENCE DIRECT – ScienceDirect Info. Banco de Tese. Acesso em: 15 de Setembro de 2017 e 11 de Setembro de 2006. 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>

SPENCE, R.D; SHI,C. **Stabilization and solidification of hazardous, radioactive and mixed wastes**. Boca Raton, Florida. Ed. CRC Press. 2010. 2p.

TAO, Y.; LI, N.; ZHANG, W.; WANG, F.; Hu, S. Understanding the zinc incorporation into silicate clinker during waste co-disposal of cement kiln: A density functional theory study. **Journal of Cleaner Production**, v. 232, p. 329–336. 2019.

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. U.S EPA - **Guide to the Disposal of Chemically Stabilized and Solidified Waste**. Washington, D.C., 1986b.

VESPA, M.; DÄHN, R.; WIELAND, E. Competition behaviour of metal uptake in cementitious systems: An XRD and EXAFS investigation of Nd and Zn-loaded 11 Å tobermorite. **J. Phy. and Chemistry of the Earth**. v.70-71, p.32-38. 2014.

WANG, Y.; HAN, F.; MU, J. Solidification/stabilization mechanism of Pb(II), Cd(II), Mn(II) and Cr(III) in fly ash based geopolymers. **Construction and Building Materials**, v.160, p.818–827. 2018.

WIESŁAWA, N.-W.; BARBARA, T.; SYLWIA, D. The Properties of Cement Pastes and Mortars Processed with Some Heavy Metal Nitrates Containing Solutions. **Procedia Engineering**, v. 108. p. 72–79. 2015.

ZIEGLER, F.; JOHNSON, C.A. The solubility of calcium zincate (CaZn₂(OH)₆2H₂O). **Cement Concrete Research**. v.31, p. 1327–1332. 2001.

CAPÍTULO 9

ESTUDO DA COMPACTAÇÃO E SINTERIZAÇÃO DE PÓS CERÂMICOS DE ZNO (ÓXIDO DE ZINCO) OBTIDOS POR REAÇÃO DE COMBUSTÃO COM POTENCIAL PIEZOELÉTRICO

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 05/06/2020

Verônica Barbosa da Silva

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
– UNIFESSPA, Faculdade de Engenharia de
Materiais
Marabá - PA
<http://lattes.cnpq.br/6712936355064797>

Débora Albuquerque Vieira

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
– UNIFESSPA, Faculdade de Engenharia de
Minas e Meio Ambiente
Marabá - PA
<http://lattes.cnpq.br/513473001535070>

José Bruno Silva Gomes

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
– UNIFESSPA, Faculdade de Engenharia de
Materiais
Marabá - PA
<http://lattes.cnpq.br/0897265484867350>

Sara Paulina Noronha Lima

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
– UNIFESSPA, Faculdade de Engenharia de
Minas e Meio Ambiente
Marabá - PA
<http://lattes.cnpq.br/5431919567597735>

Herbert Fonseca da Silva

Universidade Federal do Sul e Sudeste do
Pará – UNIFESSPA, Instituto de Geociências e
Engenharia
Marabá - PA
<http://lattes.cnpq.br/2887672417256094>

Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa

Universidade Federal de Campina Grande –
UFCG, Unidade Acadêmica de Engenharia de
Materiais. Campina Grande/PB.
<http://lattes.cnpq.br/6309225172752964>

RESUMO: A pesquisa e desenvolvimento de materiais nanoestruturados têm ganhado muita atenção nos últimos anos. Isso ocorre devido às possibilidades de melhoria das diversas propriedades que estes materiais podem apresentar em relação aos materiais microestruturados. As propriedades desses materiais são dependentes de sua composição química e microestrutura desenvolvida principalmente durante o tratamento térmico a que são submetidos. Dessa forma, este trabalho relata o estudo da compactação e sinterização de pós nanométricos de Óxido de Zinco (ZnO) sintetizados pelo método de reação de combustão para potencial aplicação piezoelétrica. Para tanto, os pós sintetizados foram compactados por prensagem uniaxial sob pressão de 130Mpa e 390MPa e sinterizados a 1000°C em forno convencional. Em seguida, realizou-se a avaliação das propriedades físico-químicas das pastilhas e a caracterização microestrutural e morfológica, através das técnicas de ensaio de Arquimedes difração de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), respectivamente. O processo de sinterização não alterou significativamente as características do material. A análise por difração de raios X identificou a fase única cristalina hexagonal ZnO com estrutura de wurtzita, com tamanho

médio de cristalito de 57 nm. As micrografias obtidas por MEV revelaram que o pó de ZnO é formado basicamente por partículas primárias irregulares. A prensagem uniaxial foi eficaz para a produção de peças cerâmicas a base de ZnO com geometria esférica. E o processo de sinterização proporcionou cerâmicas com maiores densidades e menores porosidades nas amostras com pressão de compactação mais elevada (390MPa).

PALAVRAS – CHAVE: Óxido de zinco, compactação, reação de combustão, piezoelectricidade.

STUDY OF THE COMPACTION AND SINTERIZATION OF CERAMIC ZNO (ZINC OXIDE) POWERS OBTAINED BY COMBUSTION REACTION WITH PIEZOELECTRIC POTENTIAL

ABSTRACT: Research and development of nanostructured materials has gained a lot of attention in recent years. This is due to the possibilities of improving the various properties that these materials can have in relation to microstructured materials. As properties of these materials are dependent on their chemical composition and microstructure developed mainly during the heat treatment that are used. Thus, this work reports the study of compacting and sintering zinc oxide nanometric powders (ZnO) synthesized by the combustion reaction method for potential piezoelectric application. For that, the post-synthesized were compacted by uniaxial pressure under 130Mpa and 390MPa pressure and sintered at 1000°C in the conventional oven. Then, it carried out an evaluation of the physical-chemical properties of the tablets and microstructural and morphological characterization, using the Archimedes X-ray diffraction (DRX) and scanning electron microscopy (SEM) test techniques, respectively. The sintering process does not change the characteristics of the material. An analysis by X-ray diffraction identified a single phase of hexagonal crystal ZnO with wurtzite structure, with an average crystal size of 57 nm. The micrographs selected by SEM reveal that the ZnO powder is basically formed by irregular primary particles. A uniaxial pressing was effective for the production of ceramic parts based on ZnO with spherical geometry. The sintering process offers ceramics with higher densities and smaller pores, with higher compaction pressure (390MPa).

KEYWORDS: Zinc oxide, compaction, combustion reaction, piezoelectricity.

1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os nanomateriais têm sido foco de inúmeras pesquisas, uma vez que eles possibilitam a descoberta de novas propriedades eletrônicas, ópticas, mecânicas, físicas e magnéticas. Eles são definidos como materiais policristalinos que possuem tamanho de grão na ordem de nanômetros (10^{-9} m) e são constituídos por cristalitos (ADDONIZIO, *et al.*, 2014).

Estes materiais podem ser sintetizados por meio de diversos métodos químicos que possibilitam o controle de parâmetros físico-químicos durante o procedimento experimental e garantem suas propriedades finais. Sendo amplamente utilizados nas áreas de microeletrônica, biologia, medicina, dentre outras. (TANSIL *et al.*, 2006).

Dentre estes semicondutores estudados, o óxido de zinco (ZnO) tem se destaca por apresentar propriedades específicas que possibilitam sua aplicação em diversos setores, tais como em componentes eletrônicos, diodos a laser, dispositivos fotovoltaicos, sensores químicos, materiais piezoelétricos, dentre outros (CHEN E LO, 2011).

Em diversas pesquisas é possível identificar algumas rotas de obtenção de nanopartículas de ZnO, tais como, sol-gel (ADDONIZIO, *et al.*, 2014), sono químico (ARRUDA, *et al.*, 2013), Pechini (BONIFÁCIO *et al.*, 2017), síntese hidrotérmica (WU, *et al.*, 2014), reação de combustão (VASEI, *et al.*, 2018) etc.

Entres essas diferentes rotas processuais, a síntese por reação de combustão vem se destacando, uma vez que se trata de um método simples, de fácil aplicação, custo relativamente baixo e que permite o controle da homogeneidade química, microestrutura e forma das partículas, além de possuir poucas etapas e um curto tempo de duração. Além disso, os materiais obtidos por este método se apresentam na forma de pós com partículas nanométricas, elevada área superficial e elevado grau de pureza (COSTA, *et al.*, 2009).

No entanto, as boas propriedades do ZnO não dependem exclusivamente do método de síntese utilizado, uma vez que as características dos precursores utilizados e as etapas subsequentes influem na microestrutura do material e conseqüentemente em suas propriedades finais (CHEN E LO, 2011).

A consolidação do pó constitui uma importante etapa posterior a síntese, consistindo na transformação de pós em peças resistentes, utilizando pressão e calor. Parte dessa transformação consiste na compactação de uma massa para a produção do compactado verde, que poderá ser submetido ao processo de sinterização para a obtenção de uma estrutura mais coerente, se necessário (DANIEL, 2004).

A etapa de sinterização tem o objetivo de gerar a densificação do corpo cerâmico, isto é; a união entre as partículas de pó. Ela é realizada em fornos, cujas temperaturas geralmente são inferiores às temperaturas do ponto de fusão dos materiais presentes em maior percentual no compactado. Esta etapa interfere diretamente nas propriedades finais do material (COSTA, *et al.*, 2009).

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo o estudo da síntese por reação de combustão do ZnO e a influência das etapas posteriores de compactação e sinterização do pó obtido para aplicação piezoelétrica, uma vez que se trata de uma área pouco explorada e que possibilita a aplicação dos estudos relacionados a engenharia de materiais como um todo, desde à síntese do material até o estudo de viabilidade de aplicação

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental adotado no trabalho se deu conforme o fluxograma exposto na Figura 1.

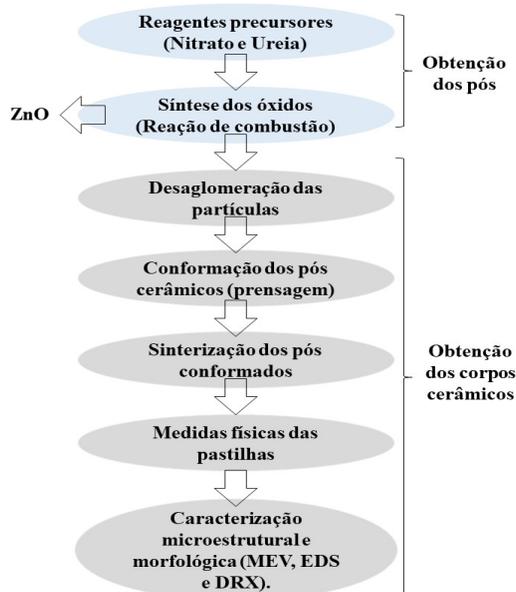


Figura 1 – Fluxograma das etapas necessárias para obtenção dos corpos cerâmicos.

2.1 Síntese do pó de óxido de zinco

Para a síntese dos pós de óxido de zinco (ZnO), foram utilizados os reagentes descritos na Tabela 1.

Precursor	Fórmula	Função reacional	Pureza (%)
Nitrato de Zinco Hexahidratado	Zn (NO ₃) ₂ .6H ₂ O	Oxidante	98
Ureia	CO(NH ₂) ₂	Combustível	98

Tabela 1: Características dos reagentes utilizados na reação de combustão do ZnO

As composições, isto é, as proporções de combustíveis-oxidantes foram definidas de acordo com a estequiometria estabelecida com base na teoria dos propelentes e explosivos, de modo a formar uma solução redox (Jain et al., 1981).

Os reagentes foram pesados e misturados em uma cápsula de evaporação e submetidos ao aquecimento direto em resistência elétrica.

A Figura 2 ilustra os estágios da reação de combustão realizada para obtenção do ZnO. Na Figura 2(a) a mistura entra em ebulição e torna-se viscosa. Com a continuidade do aquecimento, a mistura aumenta então de volume, adquirindo aspecto espumosa (formação

de bolhas), Figura 2(b). Uma grande quantidade de gases começa a se desprender e é liberada até ocorrer a autoignição (combustão), Figura 2(c) e Figura 2(d). As reações de combustão realizadas duraram em torno de 10 minutos.

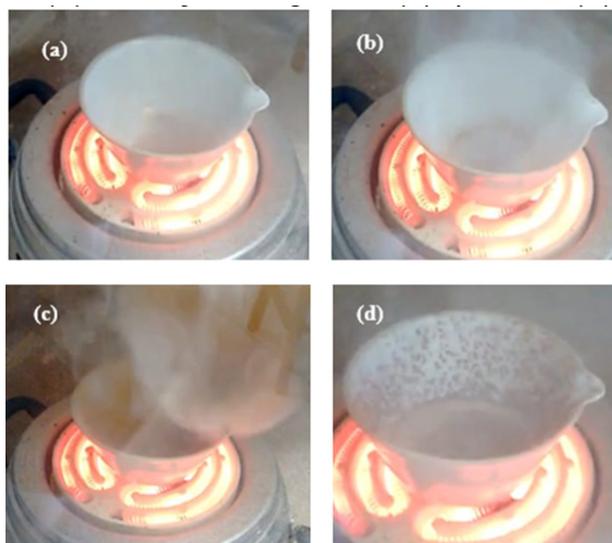


Figura 2 – Estágios de reação de combustão: (a) solução de nitrato e combustível; (b) liberação de gases; (c) queima; (d) óxido produzido

2.2 Conformação e prensagem do pó cerâmico

Em um almofariz, foi realizada a desaglomeração do pó obtido. Logo em seguida, peneirado em peneira de 200 MESH, obtendo-se assim um pó nanométrico para a compactação das pastilhas.

Em um molde de aço inoxidável de cavidade circular com diâmetro de 10 mm, e conformou-se a pastilha em uma prensa hidráulica uniaxial, mantendo-se por 1 minuto a 130Mpa. O mesmo procedimento foi realizado para a pastilha compactada a 390MPa. Nesta etapa, fez-se uso do lubrificante ácido oleico na matriz para diminuir as tensões superficiais da peça e ajudar na sua extração.

A Figura 3 mostra a prensa e o molde utilizado neste trabalho.

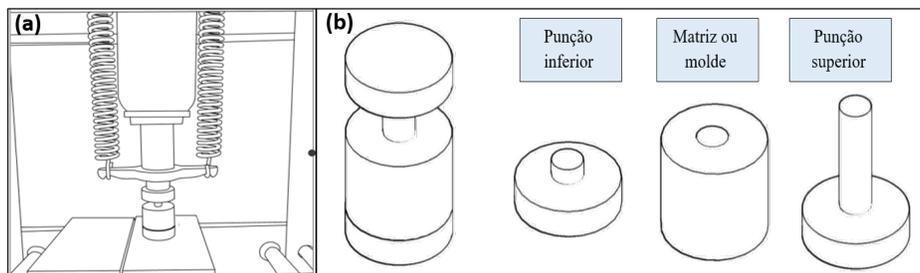


Figura 3 – Etapa de compactação: (a) prensa hidráulica uniaxial; (b) molde de aço.

2.3 Sinterização das pastilhas de óxido de zinco

Após a etapa de compactação dos pós, as pastilhas foram submetidas a um tratamento térmico de sinterização em um forno mufla, iniciando a sinterização com taxa de aquecimento de 10 °C/min até 200 °C, seguindo o aquecimento até 1000 °C com a mesma taxa de aquecimento e permanência das amostras no forno após atingir 1000 °C de 1 hora, com intuito de se obter um corpo sólido densificado.

2.4 Análise física: Absorção de água, porosidade aparente, densidade aparente

Após a sinterização, realizou-se análise físico-mecânica das pastilhas. A técnica utilizada nesta etapa se baseia no princípio de Arquimedes em meio líquido em uma balança analítica.

- **Absorção de água (AA, %massa):**

A absorção de água refere-se ao ganho percentual de massa de uma amostra, quando toda a porosidade aberta é preenchida com água (máximo de absorção), conforme a Equação 1:

$$AA (\%massa) = 100\% * \frac{(MU - MS)}{MS} \quad \text{Eq. (1)}$$

- **Porosidade aparente (PA, %volume)**

É a relação entre o volume de poros abertos e o volume total do corpo de prova, como mostra a Equação 2:

$$PA (\%volume) = 100\% * \frac{(MU - MS)}{(MU - MI)} \quad \text{Eq. (2)}$$

- **Densidade aparente (g/cm³):**

A densidade aparente é calculada pela razão entre a massa seca do material poroso (MS) (massa de sólidos + massa de poros) e seu volume total (volume de sólidos + volume de poros). Considerando-se que a massa dos poros é desprezível, calcula-se a densidade aparente por meio da Equação 3:

$$DA \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{MS}{(MU - MI)} * \rho_{\text{Água}} \quad \text{Eq. (3)}$$

2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Difração de Raios X (DRX)

As pastilhas sinterizadas foram metalizadas, melhorando a condutibilidade e qualidade das amostras, e analisadas em um Microscópio Eletrônico de Varredura modelo Zeiss EVO MA10.

A técnica de Difração de Raios X (DRX) foi utilizada para identificar as fases cristalinas. Utilizou-se um difratômetro BRUKER (modelo D2 Phaser, radiação Cu-K α), operando com tubo de alvo de cobre a uma tensão de 30,0 KV e 10,0 mA de corrente, com detector de 55D160. Para a determinação das fases existentes foi utilizado o software HighScore com os bancos de dados JCPDS e ICSD. O cálculo de tamanho de cristalito D_{hkl} para o plano cristalográfico (101) foi realizado usando a equação de Scherrer (ZANATTA, 2006).

$$D_{hkl} = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta} \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que λ é o comprimento de onda da radiação eletromagnética (0,15404 nm), β é a largura da meia altura do pico de difração, k constante que depende da forma das partículas e θ ângulo de difração.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados da síntese de reação de combustão

A síntese realizada, apresentou um aumento crescente exponencial da temperatura que ocorre desde a dissolução dos nitratos e combustível (início da fervura) até a liberação dos gases, com o aumento da viscosidade (observada visualmente) decorridos 3 minutos após o início do aquecimento. Em seguida, observou-se a liberação intensa dos gases até atingir a ignição, procedendo com a combustão, obtendo-se um pó de coloração roseada e com aspecto de flocos porosos.

3.1.1 Microscopia eletrônica de varredura dos pós de óxido de zinco (ZnO) obtido por reação de combustão

Na Figura 4 estão as micrografias do óxido de zinco obtidos por reação de combustão.

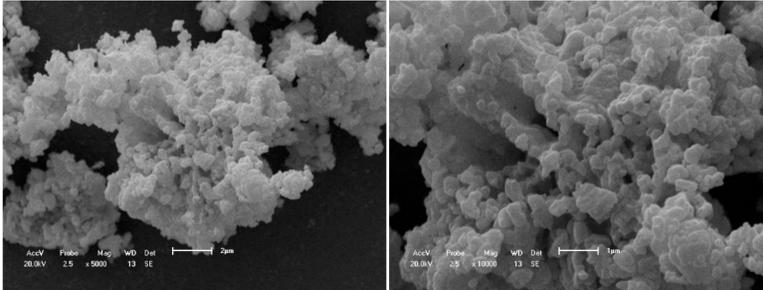


Figura 4 – Micrografias do óxido de zinco (ZnO) obtido por reação de combustão.

Observando a micrografia do pó de ZnO obtido por reação de combustão, possível notar a formação de aglomerados de geometria irregular devido ao tamanho das partículas, estes aglomerados apresentam uma formação densa com pouca porosidade aparente, isto foi encontrado na literatura. Esta morfologia está possivelmente associada à liberação de gases que ocorre durante a combustão.

3.1.2 Resultados da análise microestrutural: Difração de Raios X do pó de ZnO

Na Figura 5 está representado o difratograma de raios X da amostra do óxido de zinco (ZnO) após a obtenção por síntese por reação de combustão.

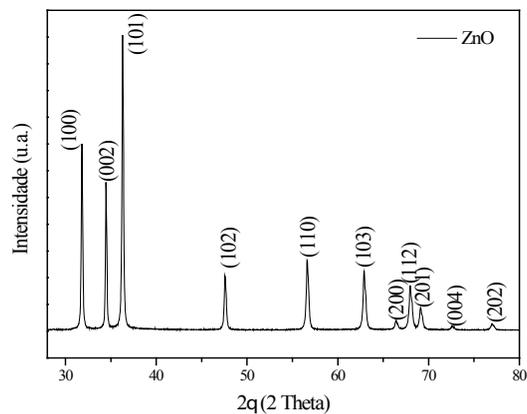


Figura 5 - Difratograma de raios X do óxido de zinco (ZnO) obtido por reação de combustão.

É possível afirmar a formação de nanopartículas com fase cristalina do tipo wurtzita, com picos de difração intensos em 2θ de $31,55^\circ$, $34,24^\circ$ e $36,03^\circ$, correspondendo respectivamente aos planos (100), (002) e (101), e picos em 2θ de $47,27^\circ$, $56,33^\circ$, $62,70^\circ$, $66,20^\circ$, $67,69^\circ$ e $68,88^\circ$, correspondendo respectivamente aos planos (102), (110), (103), (200), (112) e (201), que representam célula unitária no sistema hexagonal compacto característica do ZnO. Esta afirmação bem como a catalogação dos picos com os índices de Müller foram feitos utilizando-se de comparação os dados cristalográficos JCPDS 01-075-1526 do software *HighScore*, referente ao ZnO puro. Utilizando-se da equação de Scherrer foi calculado o tamanho do cristalito que possui tamanho médio de 57 nm, valor esse que se encontra de acordo com a literatura (LIN, *et al*, 2007).

3.2 Resultados da compactação e sinterização das pastilhas

3.2.1 Resultados das medidas físico – mecânicas das pastilhas

Realizando-se o método de Arquimedes e dispondo-se das Equações 1, 2 e 3, foi possível determinar a absorção de água, porosidade aparente e massa específica aparente das pastilhas prensadas à 130Mpa (P1), e 390Mpa (P3), respectivamente. Tais resultados estão descritos na Tabela 2.

Identificação das Amostras	AA	PA (%)	DA (%)
P1	10,15	28,85	74,35
P3	5,2	12,2	88,2

Tabela 2: Resultados experimentais: média dos resultados de porosidade aparente (PA) e absorção de água (AA), Densidade Aparente (DA).

Com os resultados de densidade aparente, observou-se que a amostra sinterizada, P3, apresenta valor médio de densidade em torno de 89%, que foi bem superior ao valor médio de da P1, que ficou em torno de 74,5 %, nas mesmas condições de sinterização.

As medidas de porosidade aparente, por sua vez, que tem a finalidade de mostrar o valor percentual em poros abertos presentes (já que quanto menos poros, maior a resistência), confirmam este fenômeno de densificação, já que os resultados de porosidade aparente para a pastilha P3 apresenta média de 12,3% e para a amostra P1, os resultados foram bem elevados, média de 28,6%, todas sinterizadas à 1000°C .

Do mesmo modo, resultados do ensaio de absorção de água para as amostras com menor pressão de compactação são inferiores às amostras com maior pressão de compactação, o que já era esperado, já que quanto menor a porcentagem de porosidade, menor é a absorção de água.

3.2.2 Resultados da análise microestrutural: Difração de Raios X (DRX) das pastilhas

Na Figura 6 está representado o difratograma de raios X das pastilhas P1 e P3 de óxido de zinco (ZnO) obtidas após as etapas de prensagem e sinterização.

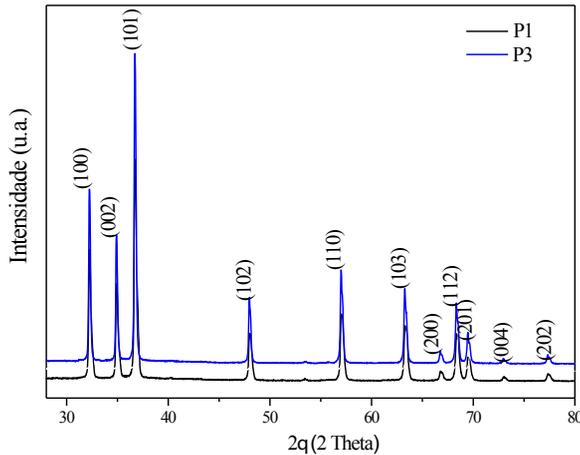


Figura 6 – Difratograma de raios X das pastilhas P1 (130Mpa) e P3 (390 Mpa).

Após o processo de compactação e sinterização, observa-se pelos difratogramas de raios X das amostras compactadas nas pressões 130 e 390 Mpa e sinterizadas a 1000 °C, a preservação de suas características microestruturais, com elevada cristalinidade e a presença dos picos característicos do óxido de zinco, do tipo wurtzita, correspondendo aos planos (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200), (112) e (201), utilizando-se a comparação os dados cristalográficos JCPDS 01-075-1526 do software *HighScore*, referente ao ZnO.

Utilizando-se da equação de Scherrer (Klung, 1962) foi calculado o tamanho médio do cristalito para as amostras P1 e P3, os valores referentes aos picos de maior intensidade foram 39 e 40 nm, valores reportados na literatura. (Costa, et al, 2006). Não foram detectados picos de fase secundária, o que indica que estes cristais possuem elevada cristalinidade.

3.2.3 Resultados da análise morfológica: Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) das pastilhas

A Figura 7 apresenta as micrografias das pastilhas compactadas à uma pressão de compactação de 130Mpa. Aumento de 5000x (Figura 7 -a), aumento de 8000x (Figura 7 – b).

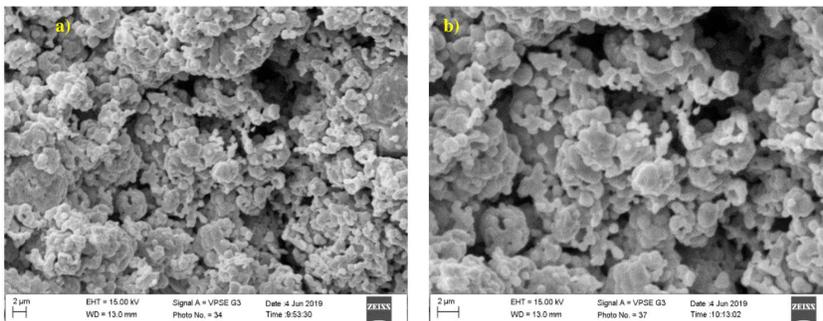


Figura 7 - Imagens de microscopia eletrônica da amostra de ZnO P1 (compactada com 130Mpa de pressão). (a) aumento 5000x e (b) aumento 8000x.

A Figura 8 apresenta as micrografias das pastilhas compactadas à uma pressão de compactação de 390Mpa. Aumento de 5000x (Figura 8 -a), aumento de 8000x (Figura 8 – b).

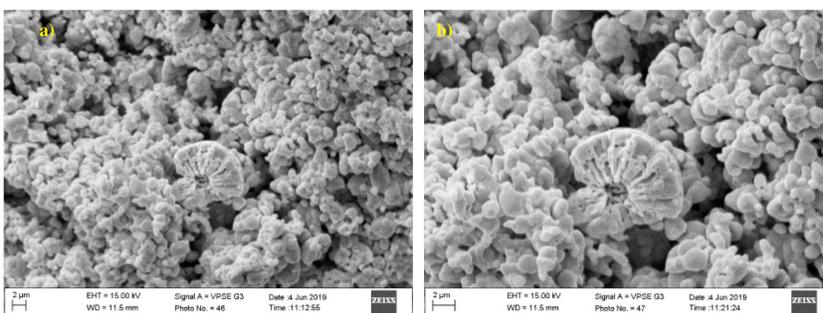


Figura 8 - Imagens de microscopia eletrônica da amostra de ZnO P3 (compactada com 390 Mpa de pressão). (a) aumento 5000x, (b) aumento 8000x.

As amostras apresentaram morfologia com tamanho de partícula nanométrica, com a presença de aglomerados pequenos com formato esférico e na forma de flocos porosos constituídos de partículas pequenas e com presença de porosidade interpartícula. Na partilha P3 é possível notar a presença de uma morfologia distinta, denominada *Cluster* de ZnO, também conhecida como Flor, corroborando com a literatura.

Porém as amostras de ZnO em todas as pressões de compactação avaliadas revelou porosidade entre as partículas, o que indica que a sinterização convencional pode ser alterada de modo a obter compactados mais densos, característica indicada para aplicações piezoelétricas.

Os resultados de densificação para as pastilhas prensadas com maior pressão de compactação visualizados nas medidas físicas são bem satisfatórios levando em

consideração que foi realizado apenas prensagem uniaxial e sinterização convencional, processo relativamente simples e barato.

4 | CONCLUSÃO

O método de síntese de reação de combustão se mostrou eficiente na obtenção de amostras de ZnO. A análise por difração de raios X identificou a fase cristalina hexagonal ZnO com estrutura de wurtzita, sendo que nenhuma outra fase cristalina foi identificada. Utilizando-se da equação de Scherrer foi calculado o tamanho do cristalito que possui tamanho médio de 57nm. As micrografias obtidas por MEV revelaram que o pó de óxido de zinco é formado basicamente por partículas primárias irregulares.

Além disso, observou-se que a prensagem uniaxial foi eficaz para a produção de peças cerâmicas a base de óxido de zinco com geometria irregular. E o processo de sinterização proporcionou cerâmicas com maior densidade média, de 88,2 % e menor porosidade média, de 12,2 % nas amostras com pressão de compactação mais elevada, de 390 Mpa.

Dessa forma, é possível concluir que se trata de uma pesquisa promissora, uma vez que apresenta resultados positivos em termos de processamento, com a obtenção de uma nanoestrutura de elevada cristalinidade, alta pureza e boas propriedades físicas.

REFERÊNCIAS

Addonizio, Maria Luisa; Aronne, Antonio ; Daliendo, Santolo ; Tari, Orlando ; Fanelli, Esther ; Pernice, Pasquale. **Applied Surface Science**, 30 June 2014, Vol.305, pp.194-202

Arruda, Larisa; Leite, Douglas; Orlandi, Marcelo; Ortiz, Wilson ; Lisboa-Filho, Paulo. **Sonochemical Synthesis and Magnetism in Co-doped ZnO Nanoparticles**. Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 2013, Vol.26(7), pp.2515-2519

Bonifácio, Maria Aparecida Ribeiro; Lira, Hélio de Lucena; Neiva, Laédna Souto; Kiminami, Ruth H. G. A.; Gama, Lucianna. **Nanoparticles of ZnO Doped With Mn: Structural and Morphological Characteristics**. *Materials Research*, 01 June 2017, Vol.20(4), pp.1044-1049.

Costa, A. C. F. M.; Vieira, D. A.; Lula, R. P. T.; Kiminami, R. H. G. A.; Gama, L. **Influência da uréia e glicina na síntese por reação de combustão do suporte catalítico ZnAl₂O₄**. In: 17° CBECIMAT - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, Foz do Iguaçu, PR, 2006.

Chen, y.-c.; Lo, s.-l. **Effects of operational conditions of microwave-assisted synthesis on morphology and photocatalytic capability of zinc oxide**. *Chemical engineering journal*, v. 170, p. 411-418, 2011.

Daniel, M-C. Gold. **Nanoparticles: Assembly, Supramolecular Chemistry, Quantum-Size-Related Properties, and Applications toward Biology, Catalysis, and Nanotechnology**. *Chemical Reviews*, v. 104, p. 293-346, 2004.

Jain, S.R; Adiga K. C; Verneker, V. R. P. **A New Approach to Thermochemical Calculations of Condensed Fuel-Oxidizer Mixtures.** Combustion and Flame, v. 40, p. 71-79, 1981

Klung, H.; Alexander, L. **In X-ray diffraction procedures**, Wiley, New York, EUA, (1962) p. 495.

Tansil, N. C.; Gao, Z. **Nanoparticles in biomolecular detection.** Nano Today, (s.l.) v. 1, p. 28-37, 2006.

Vasei, H. Vahdat; Masoudpanah, S. M.; Adeli, M; Aboutalebi, M.R. **Solution combustion synthesis of ZnO powders using CTAB as fuel.** Ceramics International, May 2018, Vol.44(7), pp.7741-7745.

Zanatta, S. C. **Síntese das granadas GdIG e YIG por moagem de alta energia. 2006. 206 f. Tese (Doutorado em Física)** – Departamento de Física, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2006.

INFLUÊNCIA DO USO DE AGENTE MODIFICADOR DE IMPACTO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO COPOLÍMERO RANDÔMICO DE POLIPROPILENO

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 10/06/2020

Jesus Rogério Damé Pereira

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
UFRGS, PPGEM
Porto Alegre – RS
<http://lattes.cnpq.br/2325570904819911>

Carmen Iara Walter Calcagno

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Sul-Rio-Grandense
Sapucaia do Sul – RS
<http://lattes.cnpq.br/0917832739193743>

Ruth Marlene Campomanes Santana

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
UFRGS, PPGEM
Porto Alegre – RS
<http://lattes.cnpq.br/0920196032137472>

RESUMO: O copolímero randômico de polipropileno (PPr) é um polímero amplamente utilizado na injeção de utilidades domésticas, indicado para injeção de peças que necessitem de ótima transparência e bom balanço de rigidez/impacto. A resistência ao impacto é uma das propriedades mecânicas mais críticas, em aplicações que demandam esse tipo de esforço; para melhorar essa propriedade, geralmente são adicionados elastômeros em mistura física que resolvem o problema da fragilidade ao impacto, porém prejudicam a transparência das peças moldadas. Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivo analisar a influência da adição

do copolímero de propileno-etileno (AGt) nas propriedades mecânicas e ópticas do PPr. Foram preparadas misturas do PPr com diferentes teores mássicos, de 1%, 3%, 5%, e 10% do AGt e todas as composições foram processadas por injeção para obtenção de corpos de prova. As amostras foram caracterizadas por testes mecânicos e ópticos. Resultados do ensaio de tração mostraram uma leve redução no módulo de Young e na resistência no escoamento, e aumento gradual da tenacidade com o aumento do teor de AGt; já no resultado do ensaio de impacto, teve um aumento de 100% com 10% de AGt. Os resultados ópticos das amostras, indicaram que não houve uma mudança significativa na transparência e cor entre elas. Os resultados demonstram que o teor com melhor balanço de propriedades do AGt foi de 10%, apresentando o melhor desempenho mecânico sem prejudicar a transparência e processamento nas amostras estudadas.

PALAVRAS-CHAVE: Polipropileno copolímero, resistência ao impacto, transparência.

INFLUENCE OF THE USE OF IMPACT MODIFIER AGENT ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE RANDOMIC POLYPROPYLENE COPOLYMER

ABSTRACT: The random copolymer of polypropylene (PPr) is a polymer widely used in the injection of housewares, indicated for injection of parts that need excellent transparency and good balance of rigidity / impact. Impact resistance is one of the most critical mechanical properties, in applications that require this type of effort; to improve this property, elastomers are

usually added in physical mixture that solve the problem of fragility to impact but impair the transparency of the molded parts. In this sense, this work aims to analyze the influence of the addition of the propylene-ethylene copolymer (AGt) on the mechanical and optical properties of the PPr. Mixtures of PPr with different mass contents of 1%, 3%, 5%, and 10% of AGt were prepared and all compositions were processed by injection to obtain specimens. The samples were characterized by mechanical and optical tests. Results of the tensile test showed a slight reduction in Young's modulus and resistance in flow, and a gradual increase in toughness with the increase in AGt content; in the result of the impact test, there was an increase of 100% with 10% of AGt. The optical results of the samples indicated that there was no significant change in transparency and color between them. The results demonstrate that the content with the best balance of AGt properties was 10%, presenting the best mechanical performance without impairing the transparency and processing in the studied samples.

KEY WORDS: Copolymer polypropylene, impact resistance, transparency.

1 | INTRODUÇÃO

O copolímero randômico de polipropileno (PPr) é um polímero amplamente utilizado na injeção de utilidades domésticas, indicado para injeção de peças que necessitem de ótima transparência com um bom balanço de rigidez/impacto.

A transparência e a resistência ao impacto são propriedades importantes requeridas quando o PP é aplicado na injeção de utilidades domésticas, fazendo-se necessários a tenacificação deste material. O alto custo atribuído a P&D na síntese de novos polímeros e a diversidade de materiais que podem ser obtidos por meio de blendas poliméricas, têm estimulado pesquisadores do meio acadêmico a desenvolver suas pesquisas nessa área. (WILHELM, 2000) Para melhorar essa propriedade no PP randômico, geralmente são adicionados elastômeros em mistura física que resolve o problema da fragilidade ao impacto, porém prejudica a transparência e o módulo de Young das peças moldadas. (BULHÕES, 2011)

Estudos apontam o uso de materiais elastoméricos como tenacificantes no polipropileno, sendo eles, SEBS (ABREU, FORTE e LIBERMAN, 2005), SBS (GREIN, GAHLEITNER e BERNREITNER, 2012), EVA (PESSAN et al., 2009), EPDM (HANAMOTO e FELISBERTI, 2003) e TPE (OLIVEIRA et al., 2015), sendo que todos estes interferem nas propriedades óticas das peças moldadas. Em geral as proporções usadas para tenacificar o PP, variam entre 5% a 30% em massa. Silva, Forte e Liberman (2003), no estudo com aplicação de 5% de SBS e de SEBS no PPr, não observaram ganhos de resistência ao impacto das amostras, já com a adição de 30% de SBS ou de SEBS as amostras ensaiadas não apresentaram ruptura. Abreu, Forte e Liberman (2004) ao estudarem PPr com blendas de TPE, não observaram ganhos de resistência ao impacto com a adição de 5% de TPE, ao passo que com a adição de 10% de TPE observou-se um aumento de 46% na resistência ao impacto. Outro material usado como agente tenacificante para o PP é o polipropileno

copolímero com alto teor em etileno, indicado para aplicações onde se requer melhorias na resistência ao impacto e na tenacidade, sem prejudicar as propriedades óticas do PP (SVAB et al., 2018). Nesse contexto, o presente estudo busca avaliar o efeito da adição de diferentes teores de copolímero de propileno-etileno nas propriedades mecânicas e óticas do copolímero randômico de polipropileno. A análise e discussão dos resultados dos ensaios e análises dos corpos de provas obtidos por processo de injeção servirão como base para definir o teor de mistura que apresenta o melhor balanço entre rigidez/impacto.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

O material usado neste estudo foi o copolímero randômico de polipropileno (PPr) Braskem, IF 87 g/10 min, densidade 0,902 g/cm³ e como agente tenacificante o copolímero de propileno-etileno (AGt) da ExxonMobil, IF 20 g/10 min, densidade 0,862 g/cm³. Foram realizadas 5 formulações de PPr com o AGt nas proporções mássicas conforme mostra a Tabela 1.

Materiais	Amostra 0	Amostra 1	Amostra 3	Amostra 5	Amostra 10
PPr	100	99	97	95	90
AGt	0	1	3	5	10

Tabela 1 - Proporções mássicas das amostras avaliadas

2.2 Processamento

Optou-se por injetar diretamente as misturas físicas das diferentes amostras, devido à regularidade da forma física dos componentes da mistura.

Os corpos de prova foram moldados por injeção em um molde de duas cavidades, com canal frio, conforme ASTM D 638. A máquina usada foi uma injetora Arburg modelo 420 C com rosca universal de 40 mm. Os principais parâmetros de processo são mostrados na Tabela 2.

Parâmetro de processo	Especificação
Temperaturas de processamento	245°C(bico);230°C;240°C;240°C;210°C
Velocidades de injeção	V1 = 50,0 ccm/s ⁽¹⁾ ; V2 = 35,0 ccm/s ⁽¹⁾
Pressões de injeção	P1 = 650 bar; P2 = 90 bar
Pressão de recalque	25 bar
Tempo de ciclo	35,01 segundos

Temperatura das cavidades	Cav. fêmea = 18° C; Cav. Macho = 19°C
---------------------------	---------------------------------------

Tabela 2 - Parâmetros de processamento usado na injeção dos corpos de prova

Nota: [1] Unidade de medição para velocidade de injeção indicada no painel da máquina injetora Arburg 420

2.3 Caracterização

Foram realizados ensaios de impacto IZOD teste método E com entalhe, de acordo com a ASTM D256. Em cada ensaio foram analisados 28 corpos de prova para cada tipo de amostra, utilizando martelo de 10,8J.

O ensaio de tração uniaxial foi realizado na máquina de ensaios universal INSTRON 3367, de acordo com a ASTM D 638. O experimento foi realizado com temperatura de 10°C, com célula de carga de 30kN com velocidade de afastamento das garras de 100 mm/min. Foram ensaiados 16 corpos de prova para cada tipo de amostra. Foi gerado um gráfico de tensão x deformação para representar de forma visual o comportamento das diferentes amostras ao longo do ensaio de tração. Os dados usados para gerar esse gráfico foram dos corpos de prova que melhor representaram a média de alongamento % para cada teor de AGt.

O módulo de tenacidade (U_t) foi obtido por meio do cálculo da área média sob as curvas tensão x deformação de cada conjunto de amostras. Para calcular as áreas sob as curvas, foi usado o método numérico de integração por aproximação trapezoidal, com auxílio do programa MatLab. A função “trapz”, usada no programa MatLab consiste em aproximar a integral de uma curva pelas áreas dos trapézios descritos sob ela. (SERIGHELLI, TURR e JOSE, 2016)

Os testes ópticos de brilho e cor foram realizadas com o auxílio do espectrofotômetro portátil Spectro-Guide, modelo Sphere Gloss, da marca BYK. O ensaio de cor foi realizado conforme o espaço de cores CIEL*a*b, da Comissão Internacional de Iluminação, utilizado para avaliação das cores que correlaciona os valores da cor com a percepção visual humana. As análises das diferentes amostras foram realizadas em triplicata, em regiões aleatórias da face dos corpos de prova com 1,4 mm de espessura, conforme Figura 1.



Figura 1 - Corpo de prova usados para ensaio de cor e brilho

Fonte: Autor

As medições resultaram nos valores de a^* , b^* e L^* , que compõem as variáveis do espaço cromático CIEL*a*b e nos valores de G que se refere ao brilho. As coordenadas cromáticas: L^* como a luminosidade (100 = claro e 0 = escuro), a^* (+a = vermelho e -a = verde); b^* (+b = amarelo e -b = azul).

Também foram avaliados os valores de ΔE^* (diferença total de cores entre as três coordenadas), calculados de acordo com a Equação 1.

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

Onde:

ΔL^* = Diferença em mais claro e escuro (+ L^* = mais claro, - L^* = mais escuro);

Δa^* = Diferença em vermelho e verde (+ a^* = mais vermelho, - a^* = mais verde);

Δb^* = Diferença em amarelo e azul (+ b^* = mais amarelo, - b^* = mais azul);

ΔE^* = Diferença total de cor. (CTBORRACHA..., 2019)

Os valores de ΔE^* dos corpos de prova com AGt foram comparados com o corpo de prova padrão sem o agente tenacificante e os resultados foram avaliados de acordo com a escala das diferenças de cor, conforme Tabela 3.

Valor de ΔE^*	Escala das diferenças de cor
0 - 1	Diferença praticamente invisível
1 - 2	Diferença muito pequena, apenas perceptível para um olho treinado
2 - 3,5	Diferença média, mas perceptível para um olho não treinado
3,5 - 5	Diferença óbvia
>5	Diferença muito óbvia

Tabela 3 - Escala das diferenças de cor ΔE^* quando corpo de prova é comparado com padrão

Fonte: Adaptado de (CTBORRACHA..., 2019)

Foi realizada uma comparação dos resultados das propriedades entre os conjuntos estudados, por meio da análise de variância com nível de confiança de 95%. Amostras com a mesma letra indicam que não possuem diferença significativa no resultado, já amostras com letras diferentes indicam que há diferença significativa entre os resultados apresentados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.4 Propriedades mecânicas

A Figura 2 apresenta os resultados de resistência ao impacto para as amostras ensaiadas em função do teor do agente tenacificante.

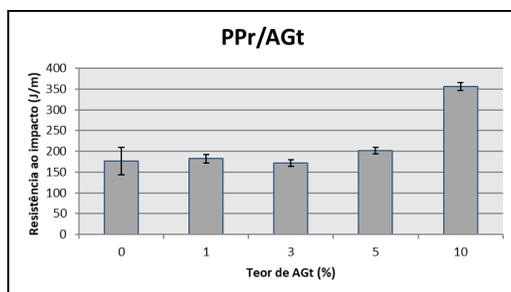


Figura 2 - Resistência ao impacto das amostras avaliadas em função do teor de AGt

Amostras com 1% e 3% de AGt não foi verificada variações significativas na resistência ao impacto quando comparado ao PPr, já com 5% de AGt teve um aumento em 12% em relação ao PPr. No estudo de Silva, Forte e Liberman (2003), com a incorporação de 5% de SBS no PPr, não observaram ganhos de resistência ao impacto das amostras, o mesmo ocorreu com a adição de 5% do aditivo SEBS, indicando que o AGt se mostra mais eficiente para ganhos em resistência ao impacto quando comparado ao SBS e SEBS.

Cabe destacar que a amostra com o teor de 10% de AGt apresentou um aumento considerável 100% do valor de resistência ao impacto ao PPr. O aumento de resistência ao impacto nas amostras com teores de 5% e 10% de AGt, pode ser atribuído à criação de mecanismos de deformação capazes de dissipar a energia de tensão ao longo da estrutura do material, reduzindo o dano ao impacto e a propagação de trincas catastróficas. Tais mecanismos foram obtidos por meio da incorporação do AGt, que possui alto teor de etileno com diferentes distribuições de comprimento de monômero e massas molares. (CHEN et al, 2015). No estudo de Abreu, Forte e Liberman (2005), do PPr com blendas de SEBS e SBS, com a adição de 10% de TPE foi observado um aumento em mais de 46% na resistência ao impacto, mostrando que o AGt é tão eficiente quanto os materiais estudados.

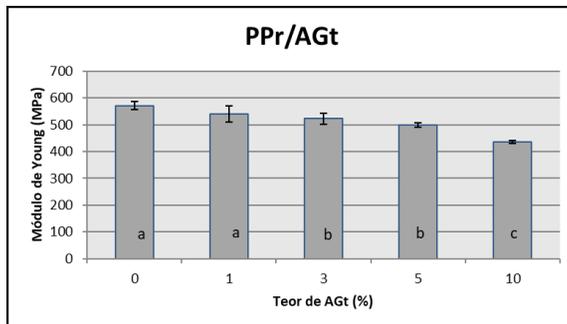


Figura 3 - Resultados do módulo de Young das amostras avaliadas em função do teor de AGt

A Figura 3 apresenta os resultados do módulo de Young obtidos nos cinco conjuntos dos corpos de prova ensaiados. Observa-se uma variação significativa no módulo de Young a partir da adição de 3% de AGt, onde ocorre uma redução de 8% no valor médio do módulo. Com adição de maiores percentuais de AGt o módulo diminui progressivamente, sendo que a queda máxima de 23% foi observada na amostra com 10% de AGt.

Resultado semelhante foi observado por Hanamoto e Felisberti (2006) no estudo da tenacificação do polipropileno randômico com uso de 10% de EPDM, onde foi observado uma redução de 21% no módulo. Grein, Gahleitner e Bernreitner (2012) também estudaram a tenacificação do polipropileno randômico com uso de 20% de SEBS e observaram uma queda de 27% no módulo dessas amostras.

A Figura 4 apresenta os resultados de tensão na ruptura para os cinco conjuntos de amostras ensaiadas.

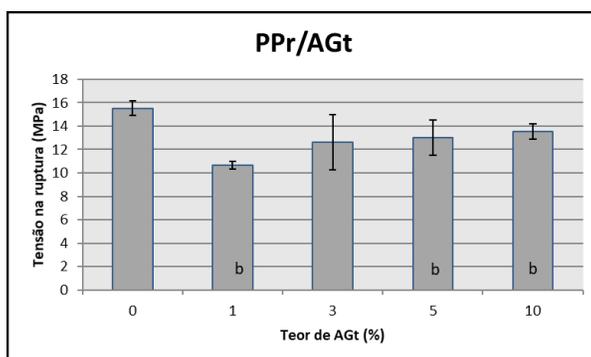


Figura 4 - Resultados de tensão na ruptura das amostras avaliadas em função do teor de AGt

As amostras sem AGt apresentam resistência a ruptura superior as demais amostras em que o aditivo foi usado. O uso de 1% de AGt diminuiu a resistência à ruptura

em 16%, porém o incremento de aditivo em maiores percentuais não provocou alterações significativas nessa propriedade. Uma queda de 10% na resistência a ruptura foi observada na pesquisa de Abreu, Forte e Liberman (2005) com a adição de 10% de SEBS ao PPr, a adição de maiores percentuais de aditivo não apresentou diferença significativa dessa propriedade. Dessa forma, é possível observar que a quantidade de AGt não interfere nos resultados de resistência à ruptura nas amostras ensaiadas.

A Figura 5 apresenta os resultados de tenacidade para as amostras avaliadas em função do teor de AGt.

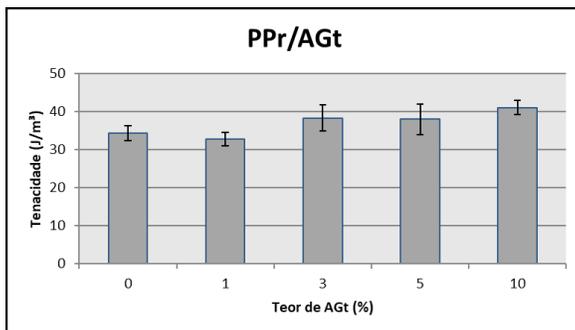


Figura 5 - Resultados de tenacidade das amostras avaliadas em função do teor de AGt

Observa-se que a partir de 3% de AGt observa-se um acréscimo de 17% em tenacidade, sendo que esse valor não muda com a adição de maiores percentuais de AGt. Por meio dessa análise, é possível observar que em teores que variam de 3 a 10% de AGt há um aumento da tenacidade média, porém estatisticamente são similares.

3.5 Propriedades ópticas

A transparência é um fator importante nas peças injetadas em polipropileno randômico, visto que este é um dos principais diferenciais desse material. (BULHÕES, 2011) A adição de misturas e o processamento podem resultar em alteração de brilho, variação de cor e redução na transparência. (MARTINS, SANTANA, 2019) Os ensaios de cor e brilho foram aplicados para avaliar se com a adição de AGt no PPr as amostras sofreriam algum tipo de alteração nas propriedades ópticas. A transparência foi verificada de forma visual, comparando o quanto fica legível a leitura de um texto através dos corpos de prova.

Teor de AGt	(a*)	(b*)	(L*)	(G)	ΔE^*
0	-0,31 ± 0,04 ^a	7,13 ± 0,12 ^a	83,9 ± 0,35 ^a	108,7 ± 4,6 ^a	-
1	-0,31 ± 0,02 ^a	7,07 ± 0,07 ^a	83,6 ± 0,15 ^a	105,9 ± 2,7 ^a	0,25
3	-0,36 ± 0,06 ^a	7,02 ± 0,19 ^a	83,8 ± 0,14 ^a	102,1 ± 5,7 ^a	0,41
5	-0,32 ± 0,03 ^a	7,02 ± 0,04 ^a	83,8 ± 0,12 ^a	106,3 ± 2,9 ^a	0,04
10	-0,30 ± 0,01 ^a	6,95 ± 0,13 ^a	83,4 ± 0,36 ^a	101,4 ± 1,2 ^a	0,42

Tabela 4 - Resultados de cor e brilho das amostras avaliadas

A Tabela 4 apresenta os resultados dos parâmetros de cor e brilho das amostras avaliadas. Nela estão descritos os valores de variação de cor entre verde-vermelho (a*), índice de amarelecimento (b*), luminosidade (L*), brilho (G) e a variação de cor total em relação à amostra sem AGt (ΔE^*).

Não houve diferença significativa de cor, luminosidade e brilho entre os diferentes corpos de prova avaliados. Esse resultado confirma a expectativa de aplicação desse aditivo, que por ser um copolímero de propileno-etileno rico em propileno e alto conteúdo amorfo, que quando misturado ao PPR não altera de forma significativa a transparência, resultado de grande interesse para a aplicação desse material. (CHUKOV et al., 2017; LU et al., 2017) A literatura técnica do AGt, fornecida pelo fabricante, reforça a sinergia entre os dois materiais e demonstra graficamente em seu estudo, que com a adição de até 10% desse material ao PPR não ocorre diferença na transparência do produto e obtêm-se peças com baixo índice de opacidade.

No estudo de Grein, Gahleitner e Bernreitner (2012), foi avaliado a adição de diferentes tipos de agentes tenacificantes no PP. Obtiveram ganhos significativos de resistência ao impacto com a adição de 20% do copolímero de etileno-1-octeno (EOC) à matriz de copolímero randômico de polipropileno. Essa mistura possibilitou combinar o ganho de resistência ao impacto e um nível de transparência próximo ao da matriz de PPR virgem, mostrando que a adição de até 20% de EOC não interfere nas propriedades ópticas da blenda.

Na pesquisa de Petchwattana, Covavisaruch e Sripanya (2013), foi investigado a influência da adição de um agente de nucleação β à base de borracha de estireno butadieno nanoescalonado específico (β -NA), nas propriedades do polipropileno isotático (iPP). Eles observaram uma melhoria significativa nas propriedades de impacto das misturas com a adição de teores que variam entre 0,05% e 0,2%, sendo que em maiores teores a resistência ao impacto tende a diminuir. Verificaram também, que as propriedades de cor b* não sofreram alteração significativa com o aumento do teor de agente, entretanto, as amostras sofreram alteração de luminosidade L* à medida que o teor de agente foi aumentado, deixando as amostras mais opacas. Tal fato foi atribuído à maior cristalinidade induzida nas amostras de iPP nucleada com β -NA, onde os numerosos cristais finos impediram a transmissão da luz através das amostras.

Quanto à diferença total de cor (ΔE^*), ao comparar as amostras com o AGt em relação às amostras sem o AGt, os valores encontrados são <1 , que de acordo com a tabela de escalas de diferenças de cor CIEL*a*b*, essa diferença de cor entre os corpos de prova é praticamente imperceptível, resultado que corrobora com os resultados de cor, luminosidade e brilho avaliados, mostrando que a adição de até 10% de AGt não interfere nas propriedades cor e brilho dos corpos de prova injetados.

A Figura 6 apresenta uma comparação visual da transparência entre os corpos de prova injetados com cinco diferentes teores de AGt. Os números nos corpos de prova representam o teor de AGt.

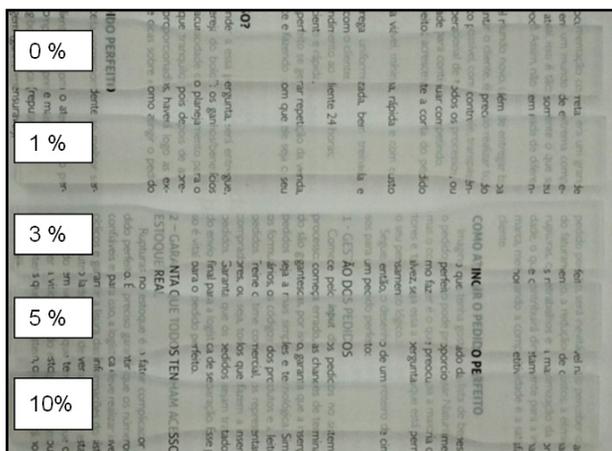


Figura 6 - Comparação visual da transparência entre dos corpos de prova com diferentes teores de AGt

A transparência observada de forma visual está relacionada com a nitidez possível de ver os textos através das amostras avaliadas de forma visual. (KRISTIANSEN et al., 2006; KRISTIANSEN et al., 2003; WANG, DOU, 2009). No estudo de Kristiansen et al. (2006), foi analisado o comportamento de fase do iPP com a adição de diferentes teores de agente clarificante Bis(3,4-dimethylbenzylidene) sorbitol (DMDBS, Millad 3988), e constatado que além do teor de agente usado, as condições de processamento de injeção também podem afetar a transparência e opacidade dos corpos de prova. Informação importante, pois ao processar as amostras para o presente estudo se tomou o cuidado de garantir um padrão nos parâmetros de processo.

Por meio de análise visual entre os cinco corpos de prova apresentados, não se observou uma mudança perceptível a olho nu na transparência, de forma que comprometesse a capacidade de leitura através dos corpos de prova que variam de 0% a 10% de AGt, reforçando os resultados das análises de cor e brilho citadas anteriormente.

Tal fato permite constatar que os diferentes teores de AGt não interferiram na transparência dos corpos de prova avaliados.

4 | CONCLUSÃO

A adição de teores de AGt até de 3% não promoveu mudanças significativas nos valores de tensão máxima. Por outro lado, o teor de AGt não interferiu nos resultados de resistência à ruptura nas amostras ensaiadas. As misturas PPr/AGt exibiram um aumento significativo na tenacidade e ductilidade, mas uma pequena diminuição na rigidez, como resistência à tração e módulo de elasticidade. A resistência ao impacto aumentou significativamente com o conteúdo de 10% de AGt para obter misturas de polímeros tenacificados. Não houve diferença significativa de cor, luminosidade e brilho entre as diferentes amostras avaliadas, confirmando a expectativa de aplicação desse aditivo que quando misturado ao PPr não altera de forma significativa tais propriedades.

Finalmente, conclui-se que o teor ótimo, que apresentou melhor desempenho mecânico à tração e impacto, foi com 10% de AGt, ressaltando que não houve uma mudança significativa nas propriedades ópticas entre as amostras.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. O. M. S.; FORTE, M. M. C.; LIBERMAN, S.A. **SBS and SEBS block copolymers as impact modifiers for polypropylene compounds**: Journal of Applied Polymer Science, vol. 95, 2005, p. 254-263
- BULHÕES, C. C. J. R. **Tenacificação de polipropileno com elastômeros olefínicos para aplicações com requisitos de transparência ótica**: Dissertação de Mestrado – UFSCar – São Paulo; 2011
- CHEN, F.; QIU, B.; SHANGGUAN, Y.; SONG, Y.; ZHENG, Q. **Correlation between impact properties and phase structure in impact polypropylene copolymer**: Journal Materials and Design; vol. 69. p. 56-63, DOI10.1016/j.matdes.2014.12.052, 2015
- CHUKOV, N. A.; LIGIDOV, M. K.; PAKHOMOV, S. I.; MIKITAEV, A. K.; **Polypropylene Polymer Blends**. Russian journal of general chemistry; vol. 59, p. 114-125, DOI: 10.1134/S1070363217090523, 2017
- GREIN, C.; GAHLEITNER, M.; BERNREITNER, K. **Mechanical and optical effects of elastomer interaction in polypropylene modification: Ethylene-propylene rubber, poly-(ethylene-co-octene) and styrene-butadiene elastomers**. Express Polymer Letters, vol. 6, n°9, 2012, p. 688-696
- HANAMOTO, L. S.; FELISBERTI, M. I. **Blendas de polipropileno sindiotático com EPDM**. Porto Alegre - RS: Anais do 7° CBPol, 2003. p. 712-714
- KRISTIANSEN, M.; GRESS, A.; SMITH, P.; HANFT, D.; SCHMIDT, H. W.; **Phase behavior, nucleation and optical properties of the binary system isotactic polypropylene N,N',N''-tris-isopentyl-1,3,5-benzene-tricarboxamide**. Polymer; vol 47. p. 249-253, DOI: 10.1016/j.polymer.2005.08.053, 2006

KRISTIANSEN, M.; WERNER, M.; TERVOORT, T.; SMITH, P.; BLOMENHOFER, M.; SCHMIDT, H. W.; **The Binary System Isotactic Polypropylene/ Bis(3,4-dimethylbenzylidene) sorbitol: Phase Behavior, Nucleation, and Optical Properties.** Journal Macromolecules; vol 36. p. 5150-5156, DOI: 0.1021/ma030146t, 2003

LU, Y.; SUN, Y.; LI, L.; MEN, Y.; **Influence of propylene-based elastomer on stress-whitening for impact copolymer.** Journal of Applied Polymer Science, DOI: 10.1002/app.44747, 2017

MARTINS, A. B.; SANTANA, R. M. C.; **Structure-properties correlation in PP/thermoplastic starch blends containing sustainable compatibilizer agent.** Materials Research Express; p. 01-28, DOI 10doi.org/10.1088/2053-1591/ab0f73

OLIVEIRA, C. I.; MONTEIRO, D. S. P.; ROCHA, M. C. G.; SILVA, A. L. N. **Propriedades mecânicas e morfologia de misturas de polipropileno e elastômero termoplástico.** In: I ENCONTRO DE ENGENHARIA, CIÊNCIA DE MATERIAIS E INOVAÇÃO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO – Nova Friburgo. Rio de Janeiro; 2015

PESSAN, C. C.; LAROCCA, N. M.; HAGE, E. J.; PESSAN, L. A. **Caracterização de blendas PP/EVA/ PP-g-MA através de reometria de torque e análises mecânicas.** São Carlos - SP: Anais do 10^o CBPol, 2009

PETCHWATTANA, N.; COVAVISARUCH, S.; SRIPANYA, P.; **Effect of nano-scaled styrene butadiene rubber based nucleating agent on the thermal, crystallization and physical properties of isotactic polypropylene.** Journal of Alloys and Compounds. n^o582, p. 190-195. DOI: doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.08.019, 2013

SERIGHELLI, P. H. G.; TURR, C. J.; JOSE, D. R.; **Método numérico para a determinação do módulo de tenacidade de materiais a partir de ensaios de tração:** Em 9^o Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar – 9^o MICTI - IFC – Instituto Federal Catarinense, ISSN 2316-7165, 2016

SILVA, F. O. M.; FORTE, M. M. C.; LIBERMAN, S. A. **Blendas de polipropileno com elastômeros termoplásticos: propriedades mecânicas e térmicas.** Porto Alegre - RS: Anais do 7^o CBPol, 2003. p. 590-591

Site: <www.ctborracha.com/colorimetria> Acesso em 31/07/2019

SVAB, I.; PUSTAK, A.; DENAC, M.; SKAPIN, A. S.; LESKOVAC, M.; MUSIL, V.; SMIT, I. **Polypropylene blends with m-EPR copolymers: Mechanical and Rheological Properties.** Journal Acta Chimica. n^o65, 2018, p. 344–353

WANG, J.; DOU, Q.; **Polypropylene/Linear Low-Density Polyethylene Blends: Morphology, Crystal Structure, Optical, and Mechanical Properties.** Journal of Applied Polymer Science. Vol.111, p. 194-202. DOI 10.1002/app.27769, 2009

WILHELM, H. M. **Modificação do polipropileno com o poli(estireno-b-butadieno-b-estireno):** Tese de Doutorado – UNICAMP – São Paulo; 2000

INFLUÊNCIA DA INCORPORAÇÃO DE SORBITOL E PROPILENOGLICOL NAS CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS DE FILMES DE QUITOSANA

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 11/08/2020

Letícia Pereira Almeida

Universidade do Estado do Amapá,
Departamento de Engenharia Química
Macapá – Amapá

<http://lattes.cnpq.br/7211415053407035>

Francisco Fábio Oliveira de Sousa

Universidade Federal do Amapá, Departamento
de Ciências Biológicas e da Saúde
Macapá – Amapá

<http://lattes.cnpq.br/3737865995129925>

RESUMO: A quitosana é um polímero natural, biodegradável e biocompatível, que possui características antimicrobiana, hemostática e cicatrizante. Recentemente, despertado grande interesse na sua aplicação como biomaterial. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi produzir e caracterizar filmes de quitosana contendo diferentes agentes plastificantes. Os ensaios de caracterização incluíram a avaliação morfológica, determinação do ângulo de contato e sorção e solubilidade. O filme de sorbitol apresentou maior capacidade absorptiva (132,48%). Não foram observadas alterações na solubilidade dos filmes devido à presença de qualquer um dos plastificantes testados. A análise por Microscopia Eletrônica de Varredura mostrou que a morfologia dos filmes não foi afetada de modo significativo pela presença dos agentes plastificantes.

PALAVRAS-CHAVE: Quitosana; filmes; biomateriais; plastificantes; membranas.

INFLUENCE OF THE INCORPORATION OF SORBITOL AND PROPYLENOGLICOL ON THE FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF CHITOSAN FILMS

ABSTRACT: Chitosan is a natural polymer, biodegradable and biocompatible, that presents antimicrobial, hemostatic and healing properties. Recently, it has gained great interest in its application as biomaterial. In this context, the objective of this work was to produce and characterize chitosan films containing various plasticizers. The characterization included sorption and solubility, contact angle and macroscopic evaluation. The sorbitol films presented a higher absorptive capacity (132,48%). No changes in the solubility of the films were observed due to the presence of any of the tested plasticizers. The electronic microscopic appreciation showed that the morphology of the films was not affected by the plasticizers.

KEYWORDS: Chitosan, films, biomaterial, plasticizer, membrane.

1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a produção de filmes poliméricos tem despertado um contínuo interesse por parte da indústria de biomateriais, em virtude da sua vasta aplicabilidade biomédica, tais como na terapia periodontal, liberação controlada de fármacos, regeneração

de tecidos, entre outros (MAZZARINO; BORSALI; LEMOS-SENNA, 2014; BARBOSA et al., 2016).

Dentre os polímeros naturais mais utilizados, destaca-se a quitosana, um polissacarídeo obtido através da desacetilação da quitina, composto mais abundante na natureza depois da celulose, e que pode ser encontrado em fungos ou no exoesqueleto de artrópodes como camarão e caranguejo (RINAUDO, 2006; ZIANI et al., 2008). A quitosana apresenta propriedades únicas, dentre as quais podemos citar a sua biodegradabilidade, biocompatibilidade, atreladas ainda a atividade antimicrobiana e hemostática (CROISIER; JÉRÔME, 2013; BARIKANI et al., 2014).

Este biopolímero possui boa capacidade para formação filmogênica, no entanto, os filmes apresentam baixa molhabilidade e propriedades mecânicas deficientes (ZIANI et al., 2008; VAN DEN BROEK et al., 2015). A adição de agentes plastificantes é uma das estratégias utilizadas para melhorar as características físico-químicas dos filmes, pois atuam reduzindo as forças intermoleculares, o que conseqüentemente aumenta a mobilidade das cadeias poliméricas (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1993; PRATEEPCHANACHAI et al., 2017). Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi produzir e caracterizar filmes de quitosana contendo diferentes agentes plastificantes, sorbitol (SB) ou propilenoglicol (PG).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Produção dos filmes de quitosana

Foram preparadas soluções de quitosana na concentração de 2% (p/v), a partir da dispersão do material em solução aquosa de ácido acético a 3% (v/v). Após a dissolução, adicionou-se o agente plastificante (sorbitol ou propilenoglicol) na concentração de 25% m/m em relação à massa de quitosana. A solução foi mantida sob agitação à temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$) por 1 hora. Posteriormente, as misturas obtidas foram transferidas em placas de Petri em temperatura ambiente para secagem. Filmes de quitosana sem plastificante também foram preparados de modo análogo ao procedimento descrito acima para ser utilizados como controle.

2.2 Caracterização dos filmes de quitosana

Ângulo de Contato. A medida de ângulo de contato foi realizada de acordo com a metodologia utilizada por Sousa et al. (2010). Uma gota de 25 μL de água destilada foi depositada na superfície dos filmes a 25°C , sendo registradas as imagens com uma câmera fotográfica (Samsung® modelo WB250F).

Sorção e Solubilidade. Para determinar a capacidade absorviva e a solubilidade dos filmes, 5 amostras com 1 cm de diâmetro de cada um dos filmes produzidos foram secas em estufa a 40°C durante 48 h. Depois de pesadas, as amostras foram distribuídas em frascos contendo 15 ml de água destilada e mantidas nestas condições durante 4 dias.

Após este período, as mesmas foram recolhidas, sendo retirado o excesso de água com papel absorvente, sendo então novamente pesadas para determinar a capacidade de absorção de água de individual de cada amostra de filme, conforme a Equação 1.

$$\text{Absorção (\%)} = [(m_2 - m_1) / m_1] * 100 \quad (1)$$

As amostras foram colocadas novamente em estufa a 70°C até atingir peso constante. Em seguida, foram novamente pesadas (m_3) a fim de se determinar a quantidade de material que ficou na solução e calcular a solubilidade através da Equação 2:

$$\text{Solubilidade (\%)} = [(m_1 - m_3) / m_1] * 100 \quad (2)$$

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A microestrutura dos filmes foi apreciada através de um microscópio eletrônico de varredura ambiental (TM3030Plus, Hitachi®). As imagens foram registradas no modo de espalhamento elétrico 15 kV e registradas em diferentes aumentos longitudinal e transversalmente para se apreciar a característica superficial e interna dos filmes obtidos.

Análise Estatística. Todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey para efeito de comparação entre os pares, admitindo-se um nível de significância de, no mínimo, 5%. O grupo controle utilizado para todas as análises foram os filmes de quitosana. Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão. As análises foram realizadas através do software BioEstat®

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Sorção e Solubilidade

A partir da análise dos resultados, pode-se perceber que os filmes em geral apresentam grande capacidade de absorção de água, aumentada ainda pela adição dos agentes plastificantes. O valor obtido no teste de sorção para o FCHI encontra-se dentro do que já fora descrito em diversas literaturas: Assis e Silva (ASSIS; VALMIR L. DA, 2003) relataram valores próximos a 90%. Os filmes com a composição FCHISB foram os únicos a apresentar maior absorção ($p < 0,05$) em relação à formulação de quitosana. O maior número de hidroxilas deste agente pode resultar na maior capacidade de absorção de água em contato prolongado, supondo-se que, uma vez que a água penetre em sua estrutura, suas ramificações atuam de modo a manter maior quantidade de moléculas aprisionadas na matriz polimérica.

Formulação	Quitosana: Plastificante (m/m %)	Ângulo de Contato (°)	Absorção (%)	Solubilidade (%)
FCHI	100:0	75,4 ± 2,3 ^a	111,10 ± 2,9 ^a	5,38 ± 2,42 ^a
FCHISB	75:25	70,71 ± 2,34 ^a	132,48 ± 11,41 ^b	6,21 ± 2,81 ^a
FCHIPG	75:25	80,0 ± 2,35 ^a	117,56 ± 11,04 ^a	5,65 ± 2,86 ^a

Tabela 1 – Valores de ângulo de contato, absorção e solubilidade dos filmes obtidos.

Mesma letra na mesma coluna indica que não há diferença significativa entre os valores médios (Teste de Tukey, $p < 0,05$).

Todos os filmes apresentaram baixa solubilidade em água, não sendo observadas diferenças significativas entre as formulações estudadas, portanto a adição dos agentes plastificante aos filmes de quitosana não alterou esta propriedade.

3.2 Ângulo de Contato

Na Tabela 1 são apresentados os valores referentes ao ângulo de contato obtido para os filmes avaliados e a Figura 1 ilustra uma das imagens capturadas durante a realização da análise. O ângulo de contato obtido no filme de quitosana foi $75,4 \pm 2,3^\circ$, indicando que sua superfície possui hidrofiliabilidade moderada. Não foram observadas diferenças significativas para os filmes FCHISB e FCHIPG quando comparados a formulação contendo apenas quitosana FCHI.

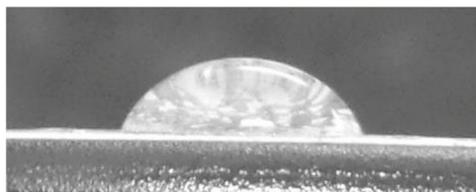


Figura 1 – Imagens capturadas durante a determinação do ângulo de contato dos filmes obtidos.

3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Todas as composições apresentaram superfícies densas, lisas e com ausência de macroporos. Neste sentido, a incorporação dos agentes plastificantes não alterou a característica superficial dos filmes. Este aspecto confirma o resultado obtido na velocidade de captação de água (Figura 2), no qual não foram observadas diferenças entre as diferentes composições. A secção transversal dos filmes obtidos apresenta morfologias semelhantes para todas as composições, evidenciando a presença de alguns microporos, intercalados com regiões heterogêneas, reforçando a ideia de deposição do agente plastificante.

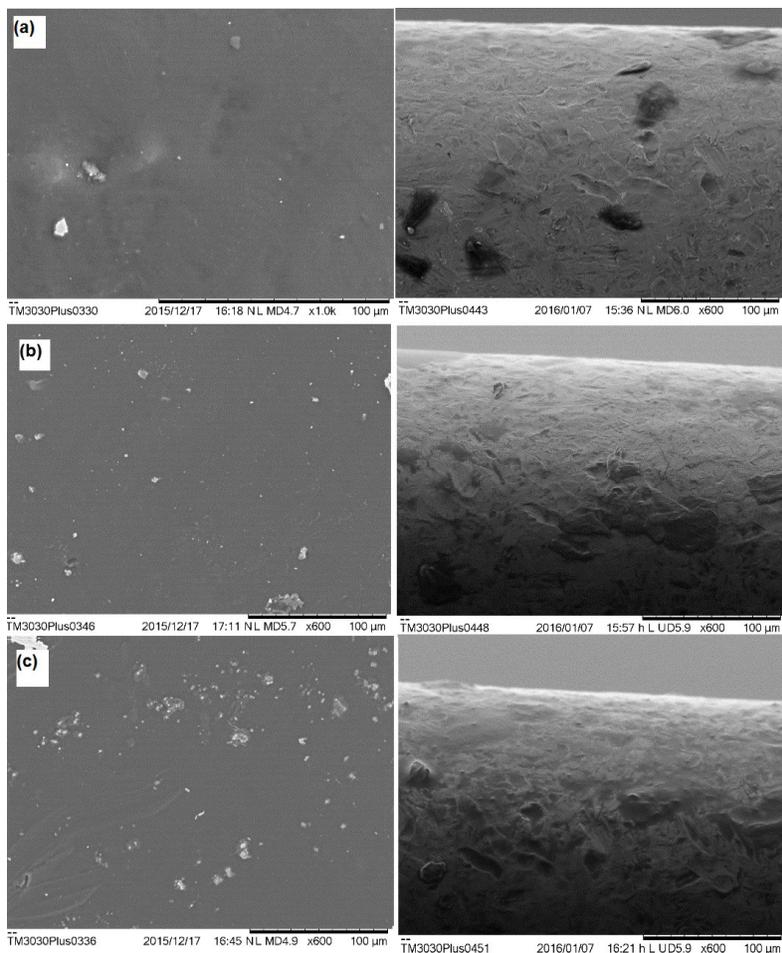


Figura 2 – Morfologia dos filmes: (a) FSCHI, (b) FCHISB, (c) FCHIPG. As micrografias da esquerda correspondem à superfície e as da esquerda referem-se à seção transversal dos filmes.

4 | CONCLUSÕES

Foram obtidos filmes de quitosana variando-se o tipo de agente plastificante utilizado na sua composição (sorbitol, e propilenoglicol) com características propícias a serem utilizados como biomaterial. Quanto à avaliação do comportamento dos filmes em contato com o meio aquoso, o filme de quitosana/sorbitol foi o único que apresentou maior capacidade de absorção de água. Não se observou diferença na solubilidade e no ângulo de contato entre todos os filmes obtidos, indicando não haver diferenças entre as superfícies dos filmes, resultado este que pode ser comprovado pela sua apreciação microscópica superficial, maioritariamente uniforme, densa e não porosa.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, O. B. G.; VALMIR L. DA, S. **Caracterização estrutural e da capacidade de absorção de água em filmes finos de quitosana processados em diversas concentrações**. *Polímeros*, v. 13, n. 4, p. 223–228, 2003.
- BARBOSA, G. P. et al. **Design and characterization of chitosan/zeolite composite films - Effect of zeolite type and zeolite dose on the film properties**. *Materials Science and Engineering C*, v. 60, p. 246–254, 2016.
- BARIKANI, M. et al. **Preparation and application of chitin and its derivatives: A review**. *Iranian Polymer Journal*, v. 23, n. 4, p. 307–326, 2014.
- CROISIER, F.; JÉRÔME, C. **Chitosan-based biomaterials for tissue engineering**. *European Polymer Journal*, v. 49, n. 4, p. 780–792, 2013.
- GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J.-L. **Water and Glycerol as Plasticizers Affect Mechanical and Water Vapor Barrier Properties of an Edible Wheat Gluten Film**. *Journal of Food Science*, v. 58, n. 1, p. 206–211, 1993.
- MAZZARINO, L.; BORSALI, R.; LEMOS-SENNA, E. **Mucoadhesive films containing chitosan-coated nanoparticles: A new strategy for buccal curcumin release**. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 103, n. 11, p. 3764–3771, 2014.
- PRATEEPCHANACHAI, S. et al. **Mechanical properties improvement of chitosan films via the use of plasticizer, charge modifying agent and film solution homogenization**. *Carbohydrate Polymers*, v. 174, p. 253–261, 2017.
- RAHMAN, M.; BRAZEL, C. S. **The plasticizer market: An assessment of traditional plasticizers and research trends to meet new challenges**. *Progress in Polymer Science*, v. 29, n. 12, p. 1223–1248, 2004.
- RINAUDO, M. **Chitin and chitosan: Properties and application**, v. 31, n. 7, p. 603–632, 2006.
- SOUSA, F. F. O. et al. **Development of a novel AMX-loaded PLGA/zein microsphere for root canal disinfection**. *Biomedical materials*, v. 5, n. 5, 2010.
- VAN DEN BROEK, L. A. M. et al. **Chitosan films and blends for packaging material**. *Carbohydrate Polymers*, v. 116, p. 237–242, 2015.
- VIEIRA, M. G. A. et al. **Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review**. *European Polymer Journal*, v. 47, n. 3, p. 254–263, 2011.
- ZIANI, K. et al. **Effect of the presence of glycerol and Tween 20 on the chemical and physical properties of films based on chitosan with different degree of deacetylation**. *LWT - Food Science and Technology*, v. 41, n. 10, p. 2159–2165, 2008.

O QUE FAZER COM OS REEE DO CESC E CESC D?

Data de aceite: 01/09/2020

Data de submissão: 05/06/2020

Fernando Wesley Pinheiro Brito

Universidade Estadual do Maranhão, Caxias - Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/8085177634036495>

Railane dos Santos de Sousa

Universidade Estadual do Maranhão, Caxias – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/8138788796788903>

Ana Sávvia Constâncio da Silva

Universidade Estadual do Maranhão, Caxias - Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/6618430458459054>

Maria de Fátima Salgado

Universidade Estadual do Maranhão, Caxias – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/3423699194033239>

RESUMO: Os celulares conhecidos como “tijolão” ou as famosas televisões de tubo, fazem parte do passado e, atualmente, constituem os Resíduos Equipamentos Elétricos e Eletrônicos – REEE— que são elementos onde, nos dias atuais, proprietários desses resíduos perdem o interesse ou são descartados de maneira imprópria, podendo futuramente, causar danos severos ao meio ambiente e os seres vivos. Este capítulo descreve atividades desenvolvidas ao longo de um ano (1), no projeto de extensão Universitária. Foi realizado uma coleta de

equipamentos eletroeletrônicos, tais como: monitores, gabinetes, teclados e impressoras. Destes componentes, foram usados carcaça, capacitores, coolers, resistores, etc. Após a coleta, seguiu-se a confecção dos experimentos para reutilização dos REEE. Destaca-se entre os experimentos confeccionados a transformação energia mecânica em energia elétrica utilizando as pastilhas piezoelétricas, onde apresenta uma grande aplicabilidade na indústria. De grande destaque no projeto, foi a apresentação da resolução CONAMA 257/99, a qual relata sobre o uso das pilhas e baterias, esclarecendo que ao fim da vida útil destes componentes, os mesmos devem ser entregues pelos usuários aos estabelecimentos que o comercializaram ou empresas técnicas autorizadas para providenciar o descarte correto.

PALAVRAS-CHAVE: REEE, Reutilizar, Experimento, Física.

WHAT TO DO WITH REEE OF CESC AND CESC D?

ABSTRACT: Cell phones known as “tijolão” or the famous tube televisions are part of the past and currently constitute waste electrical and electronic equipment – WEEE – which are elements where, currently, owners of this waste lose interest and are discarded improperly may cause severe damage to the environment and living beings in the future. This chapter describes activities developed over one (1) year, in the University extension project. Were collected electronic equipment, such as: monitors, cabinets, keyboards and printers. Of these components to

be used, housing, capacitors, coolers, resistors, etc. After that, experiments were carried out to reuse WEEE. The experiments to transform mechanical energy into electrical energy using piezoelectric tablets stands out, where it has great applicability in the industry. A highlight of the project was the presentation of CONAMA resolution 257/99, which clarifies the use of batteries, that at the end of the useful life of these components, users to the establishments that sold or authorized technical companies to provide correct disposal must deliver them.

KEYWORDS: WEEE, Reuse, Experiment, Physics.

1 | INTRODUÇÃO

Os REEE vêm chamando a atenção da sociedade pela imensa capacidade de poluição e contaminação do meio ambiente, dos seres humanos e dos outros animais. Em 1994, cerca de 20 milhões de computadores chegaram no final de sua vida útil e em 2004 o valor subiu para 100 milhões. Entre 1994 e 2004 houve um acúmulo de REEE em aproximadamente 500 milhões de computadores totalizando em 287 toneladas de mercúrio. (WIDMERA *et. al* 2005). De acordo com a ONU (2019), até 2050 o mundo produzirá cerca de 120 milhões de toneladas de REEE por ano. Isso se deve ao fato de que o equipamento eletrônico se torna obsoleto, devido ao avanço da tecnologia que são constantemente inseridas nestes aparelhos e dispositivos.

O descarte e manuseio incorreto desses resíduos podem causar sérios problemas ambientais. Segundo Pallone (2010, *apud* Del Grossi, 2011), “são utilizados inúmeros componentes que tem metais pesados, como: o mercúrio [...] o cádmio, utilizado em placas de circuitos impressos [...] tubos de raios catódicos mais antigos e estabilizadores”.

A realização do projeto “O que fazer com o REEE do CESC e CESC?” teve como intuito conscientizar moradores da universidade em relação ao perigo no manuseio dos equipamentos eletrônicos, bem como reutilizar os resíduos coletados nos campus. Foram confeccionados experimentos voltados para o ensino da Física e realizando apresentação em escolas de educação básica e eventos científicos locais, para instigar o interesse pela ciência.

2 | REVISÃO DE LITERATURA

A sigla REEE advém de Resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos. Para Widmer et al. (2005), os REEE são equipamentos eletroeletrônicos (onde em seu funcionamento é a base de eletricidade) que não tem mais valor para seus proprietários. À medida que a tecnologia avança, são lançados novos aparelhos mais sofisticados, e na maioria das vezes, os aparelhos que foram substituídos não são descartados corretamente.

Muitos desses aparelhos contêm materiais que podem ser nocivos ao meio ambiente. Segundo Trombini (2013), estimulada pela necessidade de consumo e ultrapasso do material em relação ao ciclo de vida programado, os REEE têm se tornado um grande risco

ao meio ambiente e na sociedade devido ao número exacerbado de substâncias tóxicas que são encontradas nas suas composições.

Segundo Del Grossi (2011), quando as substâncias presentes nos REEE, são inadequadamente dispostas, podem contaminar o solo, ar, as águas superficiais e subterrâneas, podendo ainda ter efeitos acumulativos nos níveis tróficos, trazendo danos à saúde. Segundo ABDI (2013, p.17), os REEE são compostos por mais de 20 tipos de metais pesados, além de plástico e outros componentes eletrônicos que recebem determinados tratamentos químicos para algumas finalidades. Na tabela 1 tem alguns metais pesados que existem nos REEE e quais seus danos.

Metais pesados	Danos à saúde humana
Bário	Provoca efeitos no coração, constrição dos vasos sanguíneos, elevação da pressão arterial e efeitos no sistema nervoso central (SNC).
Cádmio	Acumula-se nos rins, fígado, pulmões, pâncreas, testículos e coração; possui meia-vida de 30 anos nos rins;
Chumbo	É o mais tóxico dos elementos; acumula-se nos ossos, cabelos, unhas, cérebro, fígado e rins, em baixas concentrações causa dores de cabeça e anemia.

Quadro 1 – Metais pesados que se encontra nos REEE

Fonte: Adaptado de ABDI, 2013

Afim de tentar uma ação contra o descarte e manuseio indevido de pilhas e baterias que contém em suas composições chumbo, cádmio, mercúrio e seus compostos, a resolução CONAMA nº 257, de 30 de junho de 1999, estabeleceu que seja obrigatório o uso de procedimentos para reutilizar, reciclar, tratar ou determinar um fim ambientalmente adequado, (BRASIL, 1999).

Segundo o art. 33 da Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de Pilhas, Baterias, produtos eletroeletrônicos e seus componentes, dentre outros, são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos.

Os componentes eletrônicos foram importantes no desenvolvimento deste projeto, uma delas são as partilhas - feitas de cerâmicas piezoelétricas, que geraram 12 volts. “As cerâmicas piezoelétricas são corpos maciços semelhantes às utilizadas em isoladores elétricos [...] são constituídas de inúmeros cristais ferroelétricos microscópicos, sendo inclusive denominadas como policristalinas” (PEREIRA A.H.A, 2010). Com esse experimento foi possível observar fenômeno de transformação de energia, mecânica em elétrica quando sofrem alguma tensão mecânica, ou ao contrário, quando sofrem uma deformação mecânica quando sofre uma descarga elétrica (MINETO, 2013).

De acordo com HALLIDAY (2009) a capacitância nada mais é do que a capacidade de armazenar energia elétrica, daí, é atribuído o nome do componente capacitor. Já o diodo tem como função transformar a corrente alternada em corrente contínua. O diodo usado no experimento foi o de silício. Com os diodos é possível fazer ponte retificadora, sendo mais ideal na transformação uma tensão alternada para uma tensão contínua (VICENTE, 2009).

Solenóide é um dispositivo que utiliza o campo magnético que se forma nas espiras quando a corrente a atravessa. Quando é colocado próximo um material ferromagnético, ele é atraído pela força magnética que foi criada para dentro da bobina (MENDONÇA, 2016).

O motor elétrico é uma máquina que converte de energia elétrica em energia mecânica, e está presente em muitos aparelhos do uso cotidiano, como máquinas de lavar e ventiladores. Já o gerador, pode trabalhar com a produção de energia elétrica através da energia mecânica, em turbinas de hidroelétricas ou até mesmo por motores elétricos (CEFETRN, 2006).

3 | MATERIAIS E MÉTODO

A metodologia seguiu três etapas distintas. Primeira etapa foi a revisão de literatura relativa ao conteúdo REEE focando nos possíveis danos ao meio ambiente e que materiais poderiam ser manuseados. A segunda foi a coleta dos REEE e a separação do material que poderia ser usado para fazer os experimentos e demais objetos. Terceira etapa: mostra científica, apresentando os experimentos produzidos com materiais retirados dos REEE e a conscientização dos riscos trazidos por esses resíduos.

4 | RESULTADOS

No período de 12 meses, a equipe sob orientação da coordenadora Prof.^a Maria de Fátima Salgado, foram responsáveis pelo desenvolvimento de quatro experimentos no total (sendo um deles apenas cedido material) e três objetos de uso constante de organização do espaço de trabalho, que foi o LABMAT – Laboratório de Materiais e Divulgação Científica – localizado na UEMA Campus Caxias.

Nos meses iniciais, primeira etapa do processo, foi realizado um estudo acerca do que pode ser considerado REEE, quais materiais seriam seguros de trabalhar, afim de tentar evitar um acúmulo desses resíduos no local de trabalho. Com o risco de contaminações do ambiente, equipamentos sem uso, como impressoras, CPU (Unidade Central de Processamento), monitores, mouse e teclados foram coletados nos campus das cidades de Caxias e Codó.

Já com os REEE no laboratório, pôde-se fazer um levantamento de quais estavam em funcionamento e quais estavam com defeito. Os que apresentavam falha, foram separados

para retirada das peças que poderiam ser usadas na confecção de experimentos. Os que estavam funcionando, foram destinados para o reaproveitamento em benefício da própria instituição, no conserto de computadores do LABMAT e da Biblioteca .



Fig. 1 – Monitor (a esquerda) reutilizado no LABMAT; fonte de alimentação reutilizada para conserto do CPU da Biblioteca.

Fonte: Autor

O primeiro experimento desenvolvido (figura 1) foi motor a pistão eletromagnético, onde trabalha com transformações de energias. Nele foram utilizadas ventoinhas que se encontram na placa-mãe, fio de cobre de pequenos motores dos gravadores de CD/DVD, a base para sustento do experimento foram utilizados o suporte de apoio do Hard Disk e da fonte de alimentação, pregos, pedaços de madeira, caneta e cola.

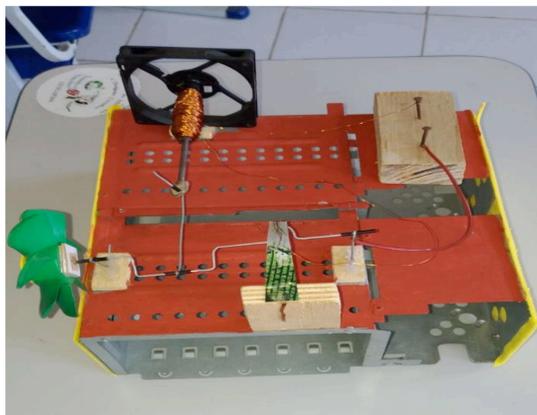


Fig. 2 – Motor a pistão eletromagnético.

Fonte: Autor

Na construção deste experimento, o eletroímã junto ao prego serviu para a formação do pistão do motor, onde, ao entrar em contato com energia elétrica, ocorre uma transformação em energia magnética, que atrai o prego para o interior do eletroímã. Com o virabrequim (eixo de manivelas), estavam acopladas uma ventoinha e uma biela que o liga ao eixo. Para o pistão funcionar devidamente, um sistema elétrico possibilitou o acionamento e desligamento do eletroímã. A aplicação mais comum desse experimento seria uma alternativa para veículos atuais, uma vez que, a substituição dos motores movidos a combustível fóssil que é poluente, vem sendo estudada por algumas potências mundiais como França e os Estados Unidos (CASTRO, *et. al.* 2019).

O segundo experimento confeccionado foi Gerador de eletricidade através de pastilhas piezoelétricas. Neste experimento foram utilizadas as pastilhas (ligadas em série) introduzida no teclado; ponte retificadora (modificando a tensão para contínua), capacitor conectado ao retificador e em seguida ao led (que auxilia o *led* para que continue aceso após as pastilhas não serem pressionadas).



Fig. 3 – Gerador de Energia Elétrica com o Teclado.

Fonte: Autor

A aplicação de pastilhas piezoelétricas vem crescendo nos últimos anos devido à busca por energias renováveis, sendo uma das principais alternativas quando se trata deste tema. Diversas aplicações podem ser encontradas, a exemplo disso temos no setor naval com a elaboração de um sistema que produz eletricidade através do contato da água com o casco do Navio (Portilho *et. al.* 2016). Outra aplicação seria em locais de tráfego de carros, onde estas pastilhas produzirão eletricidade para os semáforos, por exemplo (FERREIRA, 2017).

O terceiro experimento desenvolvido foi Gerador de eletricidade através de um motor elétrico, retirado de uma impressora. As impressoras constituem de um eixo tracionador (que gira devido ao acionamento do motor através da eletricidade) que tem como função puxar o papel para a parte interna e assim fazer com que ocorra a impressão. Nada foi acrescentado ou retirado, apenas foi feito o funcionamento contrário do sistema para gerar eletricidade: Rotacionando o eixo do rotor em uma determinada orientação, produzirá uma tensão nos terminais do motor sendo assim possível ligar um ou mais *leds*.

A aplicação desse experimento seria um gerador convencional que utiliza do trabalho mecânico para produzir eletricidade, como por exemplo os aerogeradores eólicos que utilizam de um sistema parecido de rotação do rotor transformando a energia cinética do vento em energia elétrica.



Fig. 4 – Gerador de Energia.

Fonte: Autor

E o quarto a ser desenvolvido foi o transmissor a laser, feito com laser de gravador de *cd/dvd* (emissor) e fototransistor (dispositivo que varia a resistência elétrica de acordo com a intensidade da luz). Seu funcionamento se dá pelo processo de levar áudio modulado e transmitido através do laser. O circuito do emissor trabalha na ampliação do áudio que transmite para o laser que oscilará de acordo com a frequência do som. O receptor será responsável por receber o sinal (laser) através do fototransistor. Este, foi desenvolvido em parceria com outros bolsistas do Laboratório Jailson Silva e Nadson de Jesus.



Fig. 5 – Transmissor de áudio a laser.

Fonte: Autor

A aplicação desse projeto abrange desde o sistema controle remoto e uma TV (emissores e receptores), até na captura e identificação de insetos utilizando a oclusão momentânea ou variação do feixe do laser produzido pelas batidas das asas ou, pelos seus movimentos. Dessa forma poderia fazer uma identificação à distância dos insetos em áreas que possivelmente são vetores de transmissões de doenças ou pragas agrícolas. (SILVA, 2014).

Alguns objetos para organização do laboratório foram produzidos. Dentre eles, um armário, produzido a partir de uma estufa industrial, teve finalidade a organização de livros que estavam sem local no laboratório.



Fig. 6 – Estante de livros.

Fonte: Autor

Prateleira de organização de ferramentas de uso geral dos bolsistas também foi idealizada com materiais do projeto, tais como carcaça para fixação do HD e gravador de DVD, disquetes antigos, alguns ganchos feitos de plástico encontrado em impressoras.



Fig. 7 - Prateleira de organização das ferramentas.

Fonte: Autor

Foram produzidos suportes para livros, feito de partes metálicas e de plástico de computadores e impressoras, afim de organizar livros soltos na bancada do laboratório. Na figura 13 podemos observar o antes e depois da organização dos livros.



Fig. 8 – Livros antes (superior) e depois (inferior) do separador.

Fonte: Autor

Apresentações do projeto e mostra de experimentos foram realizadas nas escolas de ensino básico de Aldeias Altas e São João do Sóter, cidades localizadas no Maranhão. As apresentações ocorreram durante a Semana Nacional de Ciências e Tecnologia nos anos de 2017 e 2018.



Fig. 9 - Apresentação do projeto em Aldeias Altas (MA) (a esquerda); Mostra de experimentos em São João do Sóter (MA).

Fonte: Autor

Do mesmo modo, o trabalho foi apresentado em eventos organizados pelo LABMAT nas cidades de Caxias e Codó, também localizadas no Maranhão.



Fig. 10 – Apresentação em Caxias (MA)

Fonte: Autor

5 I CONCLUSÃO

Os materiais coletados foram bem aproveitados, e medidas de segurança foram observadas devido ao alto risco à saúde de quem os manipulam. Devido à grande quantidade de materiais, foi também observado uma atenção especial em relação à organização do espaço de trabalho, para evitar poluição visual do laboratório.

Dos experimentos confeccionados, os que chamaram mais atenção foi a geração de energia elétrica através do movimento mecânico das pastilhas piezoelétricas. Elas podem ser aproveitadas como uma forma de energia convencional, usadas como as lâmpadas, na iluminação de universidades, avenidas, em indústrias com alto fluxo de caminhões, escolas, máquinas em linha de produção, praças, etc.

De grande destaque no projeto, foi a apresentação da resolução CONAMA 257/99, a qual esclarece sobre o uso das pilhas e baterias, esclarecendo que ao fim da vida útil destes componentes, os mesmos devem ser entregues pelos usuários aos estabelecimentos que o comercializaram ou empresas técnicas autorizadas para providenciar o descarte correto.

As chamadas carcaças de computadores, impressoras, e até micro-ondas, podem ser utilizadas para fins decorativos e na confecção de novos experimentos, fazendo uma forma de reorganizar qualquer ambiente, deixando-os mais belos visualmente e também aconchegantes.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos - Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**. ABDI. Brasília, 2013, p.17.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 257 de 30 de junho de 1999**. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 22 jul 1999.

_____. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 ago 2010.

CASTRO, Gabriel Gonçalves Pessoa de. et. al. **Motor V8 com Pistões Eletromagnéticos como alternativa para veículos automotores**. XVI Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Faculdade Dom Bosco. 2019.

CEFETRN – Centro Federal de Educação Técnico do Rio Grande do Norte. **Apostila de Máquinas de Corrente Contínua**. 2006.

DEL GROSSI, Andreliza C. **Destinação dos Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (REEE) em Londrina – PR**. II Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Londrina, 2011. Disponível em <<https://www.ibeas.org.br/>> Acesso em: 28 de mar 2020.

FERREIRA, Luiz Fernando Suzarte Silva. **Sistema de Geração de Energia Via Sensores Piezoelétricos**. UniCeub. Brasília, 2017.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física, (vol. 3)**. ed. 8 Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MENDONÇA, Diego César M. **A Construção do Protótipo de um Motor Elétrico Utilizando Solenoides**. Revista Universo, v. 2, n. 1. Belo Horizonte, 2016.

MINETO, Andreza Tangerino. **Geração de Energia através da vibração estrutural de dispositivos piezoelétricos não lineares**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos da USP. São Carlos, 2013. NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Mundo produzirá 120 milhões de toneladas de lixo eletrônico por ano até 2050, diz relatório**. 2019. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/>> Acesso em: 31 de mar. 2020

PEREIRA, Antônio Henrique Alves. **Cerâmicas Piezoelétricas: Funcionamento e Propriedades**. ATCP Engenharia Física. São Carlos, 2010. Disponível em <<http://www.atcp.com.br/>> Acesso em: 27 de mar 2020

PORTILHO, Arthur de Carvalho. **Geração Hidrocinética de Energia Elétrica por Piezoelectricidade para Navios Cargueiros**. XXXVII Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering. Brasília, 2016.

SILVA, Diego Furtado. **Classificação de Séries Temporais por Similaridade e Extração de Atributos com Aplicação na Identificação Automática de Insetos**. Dissertação de Mestrado, ICMC-USP. São Carlos/SP, 2014.

TROMBINI, Fátima; GOMES, Olga Venimar de Oliveira. **Reaproveitamento de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos – REEE – uma visão sobre o trabalho dos artesãos e os impactos sobre a saúde e o meio ambiente.** IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais Salvador/BA, 2013.

VICENTE, Eduardo Moreira. **Projeto e Implementação do Controle de uma Ponte Retificadora Tiristorizada Utilizando um PSOC.** Dissertação de Pós-Graduação, Universidade Federal de Itajubá. Itajubá/MG, 2009.

WIDMERA, Rolf; OSWALD-KRAPF, Heidi; SINHA-KHETRIWALB, Deepali; SCHNELLMANN, Max; BONIA, Heinz. **Global perspectives on e-waste.** 2005. Disponível em <<https://groups.nceas.ucsb.edu/>> Acesso em 28 mar 2020.

CAPÍTULO 13

LEVANTAMENTO SOCIOAMBIENTAL DOS MUNICÍPIOS PERTENCENTES AO COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS SANTA TEREZA E SANTO ANTÔNIO

Data de aceite: 01/09/2020

Walberisa Magalhães Gregório

Universidade Federal do Tocantins
<http://lattes.cnpq.br/0916014209816456>

Maria Cristina Bueno Coelho

Universidade Federal do Tocantins.
<http://lattes.cnpq.br/2999809334076571>

Mauro Luiz Erpen

Instituto Federal do Tocantins,
<http://lattes.cnpq.br/7329927485701691>

Maurilio Antônio Varavallo

Universidade Federal do Tocantins,
<http://lattes.cnpq.br/0544143604204104>

Juliana Barilli

Universidade Federal do Tocantins,
<http://lattes.cnpq.br/6647824142535902>

Asafe Santa Bárbara Gomes

Secretaria Municipal de Meio Ambiente,
Prefeitura Municipal de Gurupi-TO, Gestão
Ambiental e geoprocessamento
<http://lattes.cnpq.br/1399766694437901>

Marcos Vinicius Giongo Alves

Programa de Pós-graduação em
Ciências Florestais e Ambientais
<http://lattes.cnpq.br/5712134838373036>

Marcos Vinicius Cardoso Silva

Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO.
<http://lattes.cnpq.br/7789461574720265>

Yandro Santa Brigida Ataíde

UFT. Universidade Federal do Tocantins,
<http://lattes.cnpq.br/5408674120649888>

RESUMO: Os Comitês foram criados para reverter o quadro de conflitos, riscos e distribuição desigual dos recursos, e debater e permitir a conciliação dos diferentes interesses e a construção coletiva de soluções. O trabalho foi realizado nos oito municípios que compõem a bacia hidrográfica dos rios Santo Antônio e Santa Tereza da região sul do Tocantins, Alvorada, Cariri do Tocantins, Figueiropolis, Gurupi, Jaú do Tocantins, Peixe, Sucupira e Talismã que abrangem a Bacia Hidrográfica dos Rios Santa Tereza e Santo Antônio. As experiências de intervenções visando o desenvolvimento regional, planejadas setorialmente e implementadas sem suficiente articulação entre os setores e atores envolvidos, têm deixado marcas preocupantes no cenário dos recursos hídricos, com influência direta na qualidade de vida da população. Os municípios que embasaram a pesquisa, em sua maioria sofre com falta de estrutura na parte do meio ambiente e qualidade de vida da população, pois a secretaria do Meio Ambiente que é responsável por esta área e recente nos município e não tem muita experiência na área e então não sabem como desenvolver melhorias e projetos nos municípios. Com isso o comitê de bacias hidrográficas tem uma grande importância para dar suporte a esses municípios com cursos e capacitações para o aprendizado para assim ser desenvolvido em cada município.

PALAVRAS-CHAVE: Recursos hídricos, Sustentabilidade, Socioambientais.

SOCIO-ENVIRONMENTAL SURVEY OF THE MUNICIPALITIES BELONGING TO THE COMMITTEE OF HYDROGRAPHIC BACIAS OF RIOS SANTA TEREZA AND SANTO ANTÔNIO

ABSTRACT: The Committees were created to reverse conflict, risk and unequal distribution of resources, as well as to discuss and allow the reconciliation of different interests and the collective construction of solutions. The work was carried out in the eight municipalities that make up the hydrographic basin of the Santo Antônio and Santa Tereza rivers, in the southern region of Tocantins, Alvorada, Cariri do Tocantins, Figueirópolis, Gurupi, Jaú do Tocantins, Peixe, Sucupira and Talisman. cover the Santa Tereza and Santo Antônio River Basins. The experiences of interventions aimed at regional development, planned in a sectoral way and implemented without sufficient articulation between the sectors and actors involved, left worrying marks in the scenario of water resources, with a direct influence on the quality of life of the population. The majority of the municipalities that supported the research suffer from a lack of structure in the environment and in the quality of life of the population, since the Secretariat for the Environment, which is responsible for this area and recent in the municipality, does not have much experience in the area and then do not know how to develop improvements and projects in municipalities. With this, the river basin committee has a great importance to support these municipalities with courses and training for the learning to be developed in each municipality.

KEYWORDS: Water Resources, Sustainability, Socioenvironmental.

1 | INTRODUÇÃO

Os Comitês de Bacias Hidrográficas (BCHs) são órgãos, fóruns em que um grupo de pessoas se reúnem para discutir sobre um interesse comum o uso d'água. Os Comitês foram criados para reverter o quadro de conflitos, riscos e distribuição desigual dos recursos, e debater e permitir a conciliação dos diferentes interesses e a construção coletiva de soluções. Toda bacia tem seu próprio Comitê que é a base da gestão participativa e integrada da água.

O Tocantins vendo a necessidade de gerenciar o uso dos recursos hidrográficos de forma integrada e descentralizada, e com participação da sociedade foram criados cinco Comitês com grande importância sendo, Comitê da Bacia Hidrográfica dos Rios Lontras e Corda –CBHLC, Comitê da Bacia Hidrográfica do Entorno do Lago da Uhe Luís Eduardo Magalhães- CBHEL, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso – CBHRF e o Comitê de Bacia Hidrográfica dos Rios Santo Antônio e Santa Tereza- CBHSAST. Esta pesquisa teve como objetivos conhecer os fenômenos socioambientais, e fazê-los instrumentos para a motivação política de gestão do comitê da bacia hidrográfica dos rios Santo Antônio e Santa Tereza.

2 | METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada nos oito municípios que compõe a bacia hidrográfica dos rios Santo Antônio e Santa Tereza (Figura 1), quais sejam: Alvorada, Cariri do Tocantins, Figueirópolis, Gurupi, Jaú do Tocantins, Peixe, Sucupira e Talismã. A nascente do Rio Santo Antônio fica no município de Figueirópolis, sua bacia tem uma área drenada de 3.057,4km² cerca de 1,1% da área do estado; e a nascente do Santa Tereza fica no estado do Goiás no município de Mara Rosa sentido Sul- Norte tem uma área drenada de 5.950,9 km² cerca de 2,7% da área do estado, ambos os rios fazem parte da bacia do Rio Tocantins.

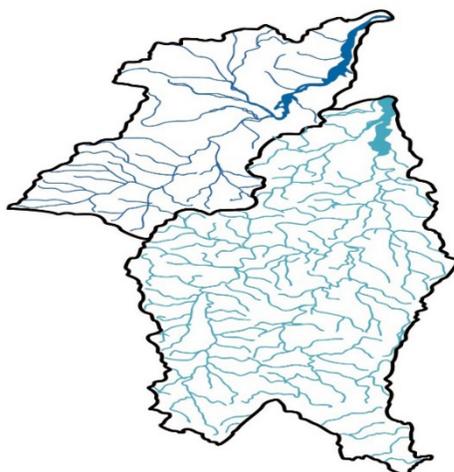


Figura 1. Delimitação da Bacia Hidrográfica dos rios Santa Tereza e Santo Antônio

No Tocantins sua classificação climática é do tipo Aw segundo Köppen, definido como tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno. As temperaturas geralmente ao longo do ano variam, entre 22°C e 28°C em média e a precipitação média anual é de 1.500 mm a 1.600 mm (KLINK; MACHADO, 2005).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A tabela 1 mostra que a bacia do Santa Teresa abrange domínios morfoestruturais Embasamentos em Estilos Complexos e, com menor abrangência, Faixas Orogênicas e Depósitos Sedimentares Inconsolidados. As formas de relevo predominantes são os modelados de topo tabular e, de forma mais restrita, ocorrem relevo de topo convexo e pediplano retocado inumado. Destacam-se terrenos com declive de 0 a 5% e 5 a 10%.

Também são registradas classes de declividade maior que 45%, de 15 a 30% e de 10 a 15%. Os solos com maior amplitude espacial são os Latossolos Vermelho-Amarelos e os Argissolos Vermelho Amarelos. São registradas classes de erodibilidade muito fraca a fraca (com maior abrangência), especial, muito forte, forte, ligeira e moderada.

Já na bacia do Santo Antônio, registram-se os domínios Embasamentos em Estilos Complexos e, com menor extensão, Faixas Orogênicas e Depósitos Sedimentares Inconsolidados. Predominantemente, ocorrem formas de relevo do topo tabular, registrando-se também modelados do tipo pediplano retocado inumado e terraços fluviais. Quanto à declividade, destacam-se aquelas de 0 a 5% e 5 a 10%, ocorrendo, ainda, declives maiores que 45% e entre 30 e 45%. Os solos com maior recobrimento são os Argissolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Plintossolos Pétricos e Argissolos Vermelhos. A combinação desses elementos das paisagens resulta em classes de erodibilidade muito fraca a fraca (principal), especial, muito forte, ligeira e moderada.

Domínios Morfológicos	Santa Tereza (km ²)	Santo Antônio (km ²)
Depósitos Sedimentares Inconsolidados	348,59	230,95
Faixa Orogênicas	617,65	391,02
Embasamentos em Estilos Complexos	4.624,31	2.223,40
Classe Declividade		
A(0 a 5%)	12,33	21,22
B(5 a 10%)	47,32	47,42
C(10 a 15%)	47,40	-
D (15 a 30%)	244,03	-
E(30 a 45%)	-	49,76
F (>45%)	416,90	102,95
AB(Mosaico- predomínio de A sobre B)	4.818,85	2.627,77
Classes Erodibilidade		
Muito fraca a fraca	3.802,77	2.161,18
Forte	246,51	-
Muito forte	503,29	146,49
Especial	855,12	463,36
Classes de Solos		
Argissolos Amarelos	-	1.289,74
Argissolos Vermelhos	-	258,07
Argissolos Vermelho- Amarelo	1.683,36	-
Latossolos Vermelho- Amarelo	3.026,71	918,70
Plintossolos Pétricos	164,13	310,24

Tabela 1. Distribuição das unidades dos temas do meio físico por bacia s hidrográficas

3.1 Características Sociais dos Municípios

As características sociais dos municípios pertencentes a bacia hidrográfica dos rios Santo Antônio e Santa Tereza estão descritas na tabela 2.

Município	PE (2017)	TA de 6 a 14 anos (2010)	PIB R\$ (2015)	SUS (2009)	AUT Km² (2016)	IDHM
Alvorada	8.516	99%	R\$ 27.168,91	3	1.212,16	0,708
Cariri	4.296	99%	R\$ 69.118,83	2	1.128,60	0,662
Figueirópolis	5.352	98%	R\$ 25.490,14	2	1.930,07	0,689
Gurupi	85.523	96%	R\$ 22.038,53	33	1.836,09	0,759
Jau do Tocantins	3.821	99%	R\$ 12.512,21	4	2.173,04	0,662
Peixe	11.591	96%	R\$ 47.975,15	6	5.291,20	0,674
Sucupira	1.941	98%	R\$ 28.807,91	1	1.025,51	0,667
Talismã	2.777	94%	R\$ 24.209,26	4	2.156,89	0,654

Tabela 2. Características sociais dos municípios pertencentes ao CBHSAST

Onde: PE = População estimada; TA= taxa de Alfabetização; PIB = produto interno bruto; SUS=Sistema Unico de Saúde; AUT= área da unidade territorial e IDHM = Índice de desenvolvimento Humano Municipal

O município de Cariri do Tocantins se destaca com um PIB de R\$ 69.118,83, onde pode se dar por o alto índice de exportação de grãos, onde 2016 foi o considerado o maior exportador de grãos de soja no estado do Tocantins representando 13,8% do total do estado.

As atividades em destaque nos municípios são os serviços públicos, exceto em Sucupira e Talismã e Gurupi que predomina a agricultura e a pecuária, e no município de Peixe que predomina a indústria.

A educação em todos os municípios é considerada “boa”, e 80% dos alunos das universidades federais são oriundos de escolas públicas e estaduais.

3.2 Principais problemas ambientais

As questões ambientais se repetem nos municípios (Quadro1), o que faz com que a solução destes possa ser avaliada no comitê.

Município	Questões Ambientais
Alvorada	<p>Saneamento em 4%;</p> <p>Qualidade de vida da população e regular;</p> <p>Água encanada na maioria das casas com água e tratada;</p> <p>Utilizam fossa</p> <p>As nascentes não estão catalogadas, e não estão preservadas e ainda não tem projeto para melhoria;</p> <p>A bacia do rio Santa Tereza tem uma proporção 35km no município;</p> <p>Lixão;</p> <p>Águas dos córregos secam na seca</p> <p>Fazem conscientização em escolas com educação ambiental e aberto a população;</p> <p>Problemas com produtores de grãos, desmatamento, queimadas no meio rural e urbano;</p> <p>Falta de fiscalização</p>
Cariri	<p>Saneamento básico em 13%</p> <p>Qualidade de vida – boa</p> <p>Água boa –poços artesiano com análise da água de 6 em 6 meses</p> <p>Água encanada 93%</p> <p>Fossa 100%</p> <p>Nascentes com umaparcialmente preservada</p> <p>Problemas ambientais com o lixão da cidade, queimadas urbanas e rurais e desmatamento</p> <p>Córregos seca na época da seca</p> <p>Educação ambiental nas escolas e para a população em geral</p> <p>Viveiro desativado, mas com planos para reativação</p>
Figueirópolis	<p>Saneamento básico em 31%;</p> <p>Qualidade de vida da população e regular;</p> <p>Água encanada na maioria das casas;</p> <p>Utilizam fossa</p> <p>As nascentes não estão catalogadas, e não estão preservadas e ainda não tem projeto para melhoria;</p> <p>A bacia do rio Santo Antônio tem uma proporção 50km no município, onde a sua nascente também se encontra no município;</p> <p>A água e tratada, mais sofre com mal cheiro;</p> <p>Planejamento de montar um projeto de preservação e revitalização das nascentes e a criação do viveiro municipal;</p> <p>Lixão próximo ao assentamento – maior problema;</p> <p>Águas dos córregos secam na seca;</p> <p>Aterro sanitário</p> <p>Fazem conscientização em escolas com educação ambiental;</p>
Gurupi	<p>Poluição das margens dos córregos urbanos;</p> <p>20% da cidade com saneamento básico;</p> <p>Queimadas urbanas;</p> <p>Incêndios florestais;</p>
Jau do Tocantins	<p>Tem o plano de esgoto mais não tem esgoto na cidade, utilizam de fossa;</p> <p>Não tem aterro, utiliza lixão mas tem um plano de aterro consorciado;</p> <p>Água tratada e poço artesiano, tem águas encanadas</p> <p>1 nascente cercada e preservada, na seca as águas secas</p> <p>Projeto de conscientização com a população, e escolas municipais e proprietários de fazendas;</p> <p>Projeto de viveiro em fase de criação;</p> <p>Queimadas</p> <p>Saneamento em 0,09%</p>

Peixe	<p>Desmatamento</p> <p>Saneamento em 12% do município</p> <p>Incêndios</p> <p>Época de temporada fazem fiscalização, e antes fazem a limpeza no rio Tocantins, fazem conscientização e educação ambiental e de preservação das praias;</p> <p>Tem viveiro para a disponibilização de mudas para a população e proprietários rurais do município;</p> <p>Água tratada</p> <p>Utilizam rede de esgoto uma parte da cidade;</p> <p>Época de temporada a cidade proporciona mais serviço a população;</p>
Sucupira	<p>Desmatamento</p> <p>Produtores agrícolas que produzem soja;</p> <p>Tem viveiro para a disponibilização de mudas para a população e proprietários rurais do município;</p> <p>Nascente da represa do município e revitalizada e preservada;</p> <p>Lixão;</p> <p>Educação ambiental nas escolas e aberta a população;</p> <p>A bacia do rio Santo Antônio e Santa Tereza tem uma grande proporção no município e sofre na época da seca;</p> <p>Água tratada;</p> <p>Não a falta de água;</p> <p>Fossa</p> <p>Época de temporada a cidade proporciona mais serviço a população;</p> <p>Secretaria do meio ambiente e nova criada em 2017</p> <p>Saneamento em 1% do município</p>
Talismã	<p>Saneamento em 17% da população;</p> <p>Nascentes degradadas; mas faz-se barragens para a conservação, água encanada toda população, Água tratada;</p> <p>Rede de esgoto na maioria da cidade;</p> <p>A bacia do rio Santa Tereza tem uma proporção de 20 km no município;</p> <p>Aterro sanitário a 8 anos;</p> <p>Faz conscientização com a população e colégios;</p> <p>Os proprietários de fazendas também são conscientizados e alguns preservam suas nascentes;</p> <p>Desmatamento pelos agricultores- um dos problemas</p> <p>Na seca chega a faltar água nas propriedades rurais; fazem monitoramento da chuva;</p> <p>Projeto Raízes da Terra;</p> <p>Incêndios na seca e usam o MIF e aceiro negro para combater</p>

Quadro1: Questões ambientais nos municípios pertencentes a Bacia Hidrográfica dos rios Santo Antônio e Santa Tereza

4 | CONCLUSÕES

Os municípios em sua maioria sofre com falta de estrutura: sem um sistema de saneamento básico enquadrando as quatro vertentes (abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e resíduos sólidos, e drenagem e água pluviais urbanas); os municípios tem alto índice de desmatamento, queimadas urbanas e rurais provocando incêndios florestais; não possuem nascentes e mananciais catalogados e preservados.

O comitê de bacias hidrográficas neste contexto tem importância para dar suporte a esses municípios com cursos e capacitações para o aprendizado para assim ser desenvolvido em cada município.

5 | RECOMENDAÇÕES

Considerando que os ecossistemas naturais não estão totalmente degradados, em especial os recursos hídricos, a valorização das questões ambientais frente ao desenvolvimento econômico poderá minimizar os custos e processos de recuperação ambiental ao longo do tempo.

Devem ser adotadas estratégias que estabeleçam condições de conservação, proteção e uso dos recursos hídricos, em um contexto de gestão integrada promovendo sustentabilidade ambiental, a médio e longo prazo.

Deve-se considerar fator econômico e ambiental com a organização e participação da comunidade envolvida na implementação da gestão dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica dos Rios Santa Tereza e Santo Antônio, considerando prioritariamente a proteção dos mananciais.

Elaborar um Plano de Bacia com caráter estratégico que permita estabelecer diretrizes para o uso múltiplo dos recursos hídricos e as demais políticas setoriais que tenham interferência sobre o manejo e a conservação do solo e da água e a produção de alimentos com preservação ambiental e equidade social.

REFERÊNCIAS

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do cerrado brasileiro. Megadiversidade, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 147-155, jul. 2005.

COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DO TOCANTINS. Cbhs. Disponível em: <<https://www.cbhto.com.br/>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

IBEGE. Ibege cidades. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 28 mai. 2018.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. DA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/l9433.htm>. Acesso em: 18 jun. 2018.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Da Criação, Natureza Jurídica e Competências da Agência Nacional de Águas – ANA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=371>>. Acesso em: 08 jun. 2018.

REGRESSÃO MÚLTIPLA COMO INSTRUMENTO DE EXPLICAÇÃO DO ÍNDICE DE VIOLÊNCIA NO BRASIL EM 2014

Data de aceite: 01/09/2020

Data da submissão: 09/07/2020

Afonso Fonseca Fernandes

Faculdade Martha FalcãoWyden,
Departamento de Administração
Manaus – Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/2181374957487503>

Américo Matsuo Minori

Universidade Estadual do Amazonas,
Departamento de Contabilidade
Manaus – Amazonas
<http://lattes.cnpq.br/4215713305764369>

Heber José de Moura

Universidade de Fortaleza, Departamento de
Administração
Fortaleza – Ceará
<http://lattes.cnpq.br/6651681648814992>

RESUMO: Segundo o Fórum Econômico Mundial de 2018 o Brasil está na lista dos 20 países mais perigosos do mundo, aparecendo em 13°. No topo da lista aparecem El Salvador, Venezuela e Nigéria, respectivamente em primeiro, segundo e terceiro. Ainda segundo o Fórum, grandes partes dos países mais violentos se concentram na América do Sul, América Central além da África. Diante deste cenário, o trabalho visa identificar variáveis socioeconômicas que possam estar relacionadas com grau de violência que incluem o Brasil na lista dos países mais violentos e assim poder contribuir em quais políticas públicas deve-se priorizar diante dos recursos

limitados. A variável dependente associada à violência selecionada foi a Taxa de Homicídio e, aplicando a análise de regressão múltipla e com o auxílio do aplicativo SPSS, identificou-se que as variáveis independentes ou explicativas mais relevantes foram a taxa de analfabetismo e a taxa de latrocínio face as demais variáveis independentes ou explicativas como, taxa de desemprego, taxa de pobreza, taxa de latrocínio, taxa de tráfico, dentre outras.

PALAVRAS-CHAVE: Violência, Regressão Múltipla, Taxa de Homicídio.

MULTIPLE REGRESSION AS AN INSTRUMENT FOR THE EXPLANATION OF THE VIOLENCE INDEX IN BRAZIL IN 2014

ABSTRACT: According to the 2018 World Economic Forum, Brazil is on the list of the 20 most dangerous countries in the world, appearing in 13th. At the top of the list are El Salvador, Venezuela and Nigeria, respectively in first, second and third. Also according to the Forum, large parts of the most violent countries are concentrated in South America, Central America as well as Africa. Given this scenario, the work aims to identify socioeconomic variables that may be related to the degree of violence that include Brazil in the list of the most violent countries and thus be able to contribute to which public policies should be prioritized in the face of limited resources. The dependent variable associated with the selected violence was the Homicide Rate and, applying the multiple regression analysis and with the aid of the SPSS application, it was identified that the most relevant independent or

explanatory variables were the illiteracy rate and the rate of robbery in the face the other independent or explanatory variables such as unemployment rate, poverty rate, robbery rate, trafficking rate, among others.

KEYWORDS: Violence, Multiple Regression, Homicide Rate.

1 | INTRODUÇÃO

O artigo aborda variáveis que explicam a taxa de homicídio nas Unidades Federativas do Brasil no ano de 2014 e a revisão da literatura busca compreender a associação das variáveis socioeconômicas que estão relacionadas com o grau de violência no país. O ano de 2014 justifica-se em função dos dados das variáveis selecionados para o estudo estarem completos neste ano e nos anos seguintes a 2014 estavam incompletos ou inexistentes nas fontes consultadas. Todavia as variáveis relacionadas no estudo continuam em destaque frente à literatura.

Segundo o Fórum Econômico Mundial de 2018 o Brasil está na lista dos 20 países mais perigosos do mundo, aparecendo em 13°. No topo da lista aparecem El Salvador, Venezuela e Nigéria, respectivamente em primeiro, segundo e terceiro. Ainda segundo o Fórum, grandes partes dos países mais violentos se concentram na América do Sul, América Central além da África.

Diante deste cenário, o objetivo é identificar quais variáveis socioeconômicas explicam a taxa de homicídio no ano de 2014 no Brasil, além de identificar quais possam estar relacionadas com grau de violência que incluem o Brasil na lista dos países mais violentos. Dentre as variáveis relacionadas do trabalho, a dependente, associada à violência foi a Taxa de Homicídio, as demais, foram consideradas como independentes. Aplicando Análise de Correlação de Pearson e Análise de Regressão Múltipla e, com o auxílio do software SPSS, identificou-se que as variáveis independentes ou explicativas mais relevantes foram a taxa de analfabetismo e a taxa de latrocínio dentre as variáveis contempladas da pesquisa. O resultado deste trabalho indica uma forte tendência para as políticas públicas sociais serem direcionadas para a educação representada pela taxa de analfabetismo e segurança representada pela taxa de latrocínio.

2 | ANÁLISE MULTIVARIADA: REGRESSÃO MÚLTIPLA

Levine, Stephan e Szabat (2017) defendem que a técnica de Regressão estabelece a relação matemática, quantifica o efeito e identifica observações fora do comum que existam entre uma variável dependente e uma ou mais variáveis independentes. Nesta mesma linha, Rodrigues e Paulo (2012) complementam que a relação entre uma variável dependente quantitativa e duas ou mais variáveis quantitativas ou qualitativas (variáveis *dummies*) independentes podem ser descritas por meio de uma equação matemática. As variáveis independentes também são denominadas de explicativas finalizam os autores.

Por outro lado Levin e Fox (2012) defendem que a Regressão Múltipla é uma generalização da Regressão Simples. Adicionam o coeficiente de determinação múltipla como a proporção da variação em uma variável dependente explicada por um conjunto de variáveis independentes. Em outros termos, o coeficiente de determinação múltipla é o valor que explicam de forma conjunta a intensidade que as variáveis independentes provocam na variação da independente.

Já Huck (2008) afirma que em alguns estudos a regressão é aplicada para prever resultados de uma variável baseada nas informações de outras variáveis. Já em outras investigações a regressão é usada para explicar o porquê de variáveis diferentes impactam em uma determinada variável de interesse. A mesma linha de pensamento é adotada por Miller, Freund e Jonhson (2011) onde citam o efeito das condições climáticas na corrosão de materiais ou o efeito da temperatura do forno, humidade e o conteúdo de ferro na resistência da cobertura de uma cerâmica.

3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Soares (2014) ao analisar o acúmulo da violência e a criminalidade no Brasil e a “corrosão” dos direitos humanos, com ênfase na taxa de homicídio, identificou que o Brasil, em 2010, apresentou uma taxa de homicídios de 27,4 (taxa/100mil), superando as taxas de homicídios de 1,0 na China, 3,4 na Índia, 5,3 nos EUA, 7,6 no Paquistão, 2,7 em Bangladesh e, 13,7 na Rússia. Ainda conforme o autor o destaque foi para a cidade de Maceió, 1º lugar no *rank* das cidades brasileiras com a maior taxa de homicídio em 2012 e 6ª posição no *rank* mundial das cidades com alta taxa de homicídios por 100 mil habitantes. Com relação a homicídios e juventude no Brasil, em 2013, o país é o 4º do mundo em índice de homicídios de adolescentes e jovens, perdendo somente para El Salvador, Venezuela e Guatemala.

Cerqueira, D. R. de C; Kahn, T.; Murray, J. (2013) afirmaram que entre 1980 e 2010 houve um milhão de homicídios no Brasil. Esse aumento foi seguido de desigualdade social, a quantidade de homens jovens na população, maior disponibilidade de arma de fogo e uso de drogas. Historicamente o Brasil apresenta altas taxas de homicídios, em torno de 26,2 por 100.000 habitantes em 2010, em comparação com uma média de 19,0 por 100.000 habitantes. O número de homicídios no Brasil entre 1997 e 2007, foi mais do que o número de mortes em guerra civil em outros países.

Porém, Valente (2019) investigou a variação local de ocorrência de crimes no Brasil com foco em Florianópolis, no período de 2011 a 2017. Foi utilizada uma análise quantitativa para verificar a suposição de dissimilaridade espaço-temporal dos eventos criminais. Duas tipologias de crimes foram analisadas: homicídios dolosos e roubos de ruas registrados pela Secretaria de Segurança Pública do Estado de Santa Catarina. Foram registrados 511 homicídios na região metropolitana de Florianópolis. Os dados mostram uma diminuição na

taxa de homicídio no período de 2011 a 2015, seguido de um aumento de 31,1 homicídios por 100.000 habitantes registrados em 2017, considerados acima taxa de homicídio do país (29,7) no mesmo período. Segundo os autores os resultados mostraram que locais específicos onde ocorreram os crimes mudam e dependem das dimensões temporais, tais como a estação, o dia da semana e a hora do dia. No entanto, os padrões espaciais para homicídios mostram-se menos sensível às variações sazonais.

4 | METODOLOGIA

Os dados do trabalho estão vinculados aos 26 estados brasileiros e Distrito Federal no ano de 2014. O ano de 2014 foi adotado em razão da disponibilidade das informações das variáveis selecionadas para o trabalho, ou seja, anos superiores algumas informações não existiam ou estavam incompletas. No tratamento dos dados foi utilizada a estatística de análise multivariada. Dentre a análise multivariada, optou-se pela Análise de Regressão Múltipla, por ser a mais adequada para explicar o resultado de interesse do trabalho, a taxa de homicídio.

A pesquisa caracteriza-se como exploratória, englobando a abordagem quantitativa e o aplicativo usado para o tratamento dos dados foi o SPSS, versão 20.

As respectivas fontes das variáveis consultadas estão resumidas na Figura 1 a seguir.

Variáveis	Fonte
Taxa de homicídio	Anuário Brasileiro de Segurança Pública
Taxa de desemprego	IBGE/PNAD
Coeficiente de Gini	IBGE/PNAD
Taxa de Pobreza	IPEADATA
Taxa de latrocínio	Anuário Brasileiro de Segurança Pública
Renda per capita	IPEADATA
Taxa de tráfico	Anuário Brasileiro de Segurança Pública
Densidade demográfica	IBGE
Taxa de analfabetismo	IPEADATA

Figura 1 - Resumo das variáveis utilizadas e fontes.

Fonte: elaboradas pelos autores.

5 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados do primeiro tratamento dos dados estão apresentados na Tabela 1. São valores médios coletados das fontes citadas anteriormente na Figura 1.

Estado	Tx de homicídio	Taxa de desemprego	Coefficiente de Gini	Taxa de Pobreza	Taxa Latrocínio	Renda per capita	Taxa de Tráfico	Densidade Demográfica	Taxa de Analfabetismo
Alagoas	61,9	13,1	0,501	9,66	1,80	604	7,80	119,58	23,59
Ceará	48,6	8,2	0,506	8,30	0,80	616	21,70	59,38	19,15
Espírito Santo	39,2	7,1	0,492	1,67	1,30	1052	122,70	84,28	5,83
Goiás	39,6	5,2	0,450	1,09	2,60	1031	93,00	19,18	7,51
Maranhão	27,8	8,1	0,529	10,33	1,10	461	12,00	20,64	22,16
Mato Grosso	40,8	4,8	0,460	1,64	1,60	1032	89,00	3,57	7,99
Pará	40,2	9,7	0,486	5,98	2,20	631	27,70	6,47	10,99
Parabá	37,8	8,5	0,513	7,11	0,40	682	0,00	69,84	20,53
Pernambuco	35,7	9,5	0,507	7,11	0,90	802	38,60	94,53	15,56
Piauí	21,4	6,0	0,501	7,47	1,10	659	10,30	12,7	22,97
Rio de Janeiro	30,0	8,1	0,525	1,61	0,90	1193	71,40	376	2,96
Rio Grande do Norte	45,7	12,1	0,496	6,05	1,80	695	3,30	64,54	18,75

Santa Catarina	11,3	3,1	0,421	1,21	0,80	1245	75,00	70,29	2,98
Acre	24,7	9,8	0,542	6,47	0,90	670	41,10	4,81	13,69
Amapá	31,0	10,3	0,470	2,15	2,00	753	8,00	5,26	3,89
Amazonas	28,6	10,8	0,530	5,19	1,20	739	34,80	2,48	6,65
Bahia	38,1	10,0	0,527	6,37	1,30	697	34,00	26,78	15,62
Distrito Federal	25,0	9,5	0,582	1,14	1,80	2055	185,70	492,82	2,77
Minas Gerais	20,7	7,1	0,485	2,19	0,30	1049	88,90	35,35	7,02
Paraná	22,7	4,6	0,453	1,46	0,90	1210	99,00	55,6	4,44
Rio Grande do Sul	22,8	4,5	0,476	1,70	1,30	695	120,70	41,7	6,51
São Paulo	10,3	7,9	0,493	1,99	0,90	1432	60,50	177,42	3,25
Mato Grosso do Sul	22,8	4,5	0,487	1,14	1,60	1053	100,70	7,33	6,51
Rorondônia	28,8	5,4	0,470	3,80	1,00	762	75,00	7,36	8,28
Sergipe	45,0	8,7	0,485	4,46	1,50	758	11,10	101,27	18,76

Roraima	14,5	8,2	0,502	2,96	0,60	871	9,50	2,22	7,63
Tocantins	21,8	6,4	0,515	5,57	0,90	765	31,50	5,39	13,46

Tabela 1 - Variáveis relevantes e seus respectivos valores médios de 2014

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados das fontes de 2014

De acordo com a Tabela 1, os três estados com as maiores Taxas de homicídio são Alagoas (61,9), Ceará (48,6) e Rio Grande do Norte (45,7) todos da região Nordeste. Observa-se que a Taxa de latrocínio e a Renda per capita não são as que estão com os piores indicadores socioeconômicos. Ou seja, há necessidade de avaliar de forma mais abrangente a fim de verificar e explicar de forma mais técnica e não de forma simples, isolada e imediata o resultado da Taxa de homicídio. Desta forma, serão aplicados instrumentos estatísticos de correlação linear de Pearson, nível de significância da correlação e outras técnicas apresentadas no texto para verificar e encontrar explicações para questões do tipo será que a taxa de analfabetismo tem influência sobre a taxa de homicídio, ou será que a renda tem mais impacto na taxa de homicídio no estado? De acordo com a resposta descrita pelo modelo pode-se inferir no direcionamento das políticas públicas nos elementos mais relevantes, diante de recursos limitados seja em valor, tempo e outros limites peculiar de cada estado.

Para verificar o nível de correlação (relacionamento) entre as variáveis utilizou-se coeficiente de correlação Pearson, com auxílio do SPSS, apresentado na Tabela 2.

		Tx. homicídio	Tx. desemp.	Coef. Gini	Tx. Pobreza	Tx. Latrocínio	Ren. per capita	Tx. Tráfico	Dens. Demo.	Tx. Analfabetismo
Tx. homicídio	P. Correlation	1	,522**	,064	,464*	,460*	-,408*	-,298	-,021	,551**
	Sig. (2-tailed)		,005	,752	,015	,016	,034	,131	,919	,003
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27

Taxa desemprego	P.Correlation	,522**	1	,587**	,556**	,193	-,266	-,496**	,189	,417*
	Sig. (2-tailed)	,005		,001	,003	,334	,180	,009	,344	,031
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Coefficiente de Gini	P.Correlation	,064	,587**	1	,405*	-,128	,066	-,040	,471*	,260
	Sig. (2-tailed)	,752	,001		,036	,525	,743	,842	,013	,190
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Taxa de Pobreza	P. Correlation	,464*	,556**	,405*	1	-,122	-,713**	-,724**	-,248	,906**
	Sig. (2-tailed)	,015	,003	,036		,546	,000	,000	,213	,000
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Taxa Latrocínio	P. Correlation	,460*	,193	-,128	-,122	1	,035	,128	,033	-,047
	Sig. (2-tailed)	,016	,334	,525	,546		,862	,524	,869	,816
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Renda per capita	P. Correlation	-,408*	-,266	,066	-,713**	,035	1	,766**	,719**	-,694**
	Sig. (2-tailed)	,034	,180	,743	,000	,862		,000	,000	,000
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Taxa de Tráfico	P. Correlation	-,298	-,496**	-,040	-,724**	,128	,766**	1	,460*	-,691**
	Sig. (2-tailed)	,131	,009	,842	,000	,524	,000		,016	,000
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27
Densidade Demográfica	Pearson Correlation	-,021	,189	,471*	-,248	,033	,719**	,460*	1	-,271
	Sig. (2-tailed)	,919	,344	,013	,213	,869	,000	,016		,172
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27

Taxa de Analfabetismo	P. Correlation	,551**	,417*	,260	,906**	-,047	-,694**	-,691**	-,271	1
	Sig. (2-tailed)	,003	,031	,190	,000	,816	,000	,000	,172	
	N	27	27	27	27	27	27	27	27	27

Tabela 2 - Coeficientes de correlação entre as variáveis.

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados das fontes de 2014

A Tabela 2 informa que a correlação de Pearson entre a Taxa de homicídio tem maior relevância com a Taxa de analfabetismo (0,551) do que com Taxa de desemprego (0,522). Em sequência, vêm a Taxa de pobreza (0,464), Taxa de latrocínio (0,460) e Renda (-0,408), sendo esta negativa, ou seja, atua na forma inversa, quanto menor a renda maior a taxa de homicídio. As demais ainda tiveram valores ainda menores de correlação de Pearson com a Taxa de homicídio, por exemplo, o coeficiente de Gini (0,064) que mede a desigualdade ou distribuição de renda. Quanto ao Coeficiente de Gini, cabe um comentário adicional, mesmo sendo positivo o seu valor a formulação técnica do coeficiente estabelece que o mesmo varie de 0 a 1 sendo que quanto mais próximo de 1, maior é a desigualdade de renda e quanto mais próxima de 0 (zero) menor é a desigualdade de renda. Ainda dentro das taxas de correlação negativa, aparecem a Taxa de tráfico (-0,298) e a Densidade demográfica (-0,021). Ambas apresentam uma correlação de Pearson baixa e por terem sinal negativo implicam direções contrárias ao da Taxa de homicídio, conforme já citado, ou seja, quanto maior o seu valor absoluto menor é a Taxa de Homicídio. De acordo com Devore (2006), Larson e Farber (2010), a taxa de correlação de Pearson é uma correlação linear e varia de -1 a +1 passando pelo valor 0 (zero), sendo quanto mais próximo estiverem de -1 ou +1 têm-se uma tendência para uma correlação mais forte e quanto mais próximo os valores tenderem para o valor 0 (zero) mais fraca é a correlação. Em outros termos, os valores extremos seriam, valor 0 (zero) nenhuma correlação linear, -1 ou +1 uma correlação máxima ou perfeita.

Em sequência determinou-se o grau de explicação de regressão conjunta da variável dependente Taxa de homicídio com todas as variáveis independentes. A finalidade é verificar o quanto cada uma delas impacta ou explica a variação da Taxa de homicídio quando uma delas varia e as demais permanecendo constantes, por meio do nível de significância. Os resultados estão na Tabela 3:

Coefficients ^a						
Model B		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		Std. Error	Beta			
1	(Constant)	95,141	32,791		2,901	,010
	Taxa de desemprego	3,390	1,060	,704	3,197	,005
	Coeficiente de Gini	-197,435	72,847	-,533	-2,710	,014
	Taxa de Pobreza	-1,002	1,525	-,239	-,657	,520
	Taxa Latrocínio	4,162	3,102	,189	1,342	,196
	Renda per capita	-,022	,011	-,603	-2,078	,052
	Taxa de Tráfico	,164	,062	,634	2,633	,017
	Densidade Demográfica	,040	,024	,374	1,663	,114
	Taxa de Analfabetismo	1,293	,518	,743	2,494	,023
a. Dependent Variable: Tx de homicídio						

Tabela 3 – Coeficientes da tx. de homicídio e variáveis independentes

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados de 2014

Conforme Larson e Farber (2010), quando a correlação linear é significativa pode-se estabelecer um modelo linear que melhor descreve os dados. Ainda segundo estes autores o nível de significância é melhor quando o coeficiente de correlação se aproxima de 1 ou o nível de significância se aproxima de zero. Neste critério, na Tabela 2, coluna Sig, verifica-se que os níveis de significância aceitáveis foram: Taxa de desemprego, Coeficiente de Gini, Taxa de Pobreza, Taxa de Tráfico e Taxa de Analfabetismo. As demais: Taxa de Pobreza Taxa Latrocínio Densidade Demográfica não se mostraram significantes. Assim, com base na análise dos dados da Tabela 2, existe uma correlação linear entre a taxa de homicídio e a Taxa de desemprego, Coeficiente de Gini, Taxa de Pobreza, Taxa de Tráfico e Taxa de Analfabetismo.

O mecanismo aplicado para se avaliar o nível de significância foi o *stepwise* por meio do SPSS. Segundo Cunha e Coelho (2012), Wang e Chen (2015), “*stepwise*” é um método de busca sequencial onde cada variável é adicionada e verificada se a contribuição das variáveis existentes no modelo continua significativa diante presença da nova variável. Se não, as variáveis que estão no modelo serão eliminadas. Os resultados do *Stepwise* se encontram na Tabela 4.

Coefficients ^a						
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	20,367	3,781		5,386	,000
	Taxa de Analfabetismo	,958	,291	,551	3,297	,003
2	(Constant)	6,614	5,018		1,318	,200
	Taxa de Analfabetismo	,998	,241	,573	4,136	,000
	Taxa Latrocínio	10,728	3,055	,487	3,511	,002

a. Dependent Variable: Tx de Homicídio

Tabela 4 - Coeficientes da Taxa de homicídio e variáveis independentes melhor modelo

Fonte: Elaborado pelos autores com base das fontes de 2014

Baseando-se na Tabela 4, verifica-se o modelo 2 apresenta melhor resultado de significância com (0,000) para a Taxa de Analfabetismo e (0,002) para a Taxa de Latrocínio. No modelo 1, a significância (0,003) é maior. Observa-se ainda que a Taxa de Analfabetismo tem maior significância. Maior significância implica maior confiança ou probabilidade de explicação da variável independente no valor da variável dependente, não quanto o tamanho do seu impacto. Isto será esclarecido na descrição do modelo matemático, a seguir.

O modelo de Regressão variada baseada nos dados da Tabela 4 ficaria:

$$\hat{y} = 6,614 + 0,998 X_1 + 10,728 X_2, \text{ onde:}$$

\hat{y} = Taxa de Homicídio

X_1 = Taxa de Analfabetismo

X_2 = Taxa de Latrocínio

A constante (6,614) estima que o número o número da Taxa de homicídios ficaria em torno de sete, se a Taxa de Analfabetismo e a Taxa de Latrocínio forem iguais a 0,00. Ou seja, a constante basicamente não traz efeitos práticos para o modelo diante das variações das variáveis socioeconômicas.

Já o coeficiente da Taxa de Analfabetismo de 0,99 estima que a Taxa de Homicídio cresça em torno aproximado de uma unidade no período considerado, para cada unidade de variação da Taxa de Analfabetismo e o coeficiente da Taxa de latrocínio de 10,728 implica no crescimento da Taxa de Homicídio aproximado de 11 unidades, para cada variação uma unidade adicional na Taxa de latrocínio.

Outra forma de interpretar os coeficientes seria, por exemplo, sejam dois estados com iguais valores de Taxa de Homicídio. Se um dos estados tem uma variação de uma unidade a mais na Taxa de Latrocínio (X_2), o efeito líquido dessa diferença é aumento em

torno de uma unidade na Taxa de Homicídio (0.998). De forma semelhante para interpretar o efeito líquido da Taxa de Analfabetismo deve-se considerar que os dois estados estejam com a mesma Taxa de Latrocínio. Se um deles aumentar de uma unidade a Taxa de Latrocínio o resultado na Taxa de Homicídio dessa variação será aproximado de 11 unidades na Taxa de Homicídio (10,728).

Por meio do R Square (R ao quadrado) determina-se a qualidade do grau de explicação conjunta de qual modelo melhor explicaria. Os resultados estão na Tabela 5.

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,551 ^a	,303	,275	10,2786
2	,735 ^b	,540	,501	8,5267

a. Predictors: (Constant), Taxa de Analfabetismo

b. Predictors: (Constant), Taxa de Analfabetismo, Taxa Latrocínio

c. Dependent Variable: Tx de homicídio

Tabela 5 - Coeficientes de determinação ou explicação do modelo (Model Summary^o)

Fonte: Elaborado pelos autores com base nas fontes de 2014

O valor de 0,540 indica que 54% do resultado da Taxa de Homicídio são explicados pela Taxa de Analfabetismo e pela Taxa de Latrocínio, verificado no modelo 2. No modelo 1 o R Square não seria relevante, apenas 30,3% seriam explicados pela Taxa de Analfabetismo. Ou seja, quando se inclui a Taxa de Latrocínio há um aumento de 23,7% de explicação ao modelo, ver Tabela 4.

6 | CONCLUSÃO

Com a análise dos resultados, conclui-se que as variáveis que mais explicam a variação da Taxa de Homicídio de um estado da Federação, que por sua vez representa o Índice de Violência no Brasil, são a Taxa de Analfabetismo e a Taxa de Latrocínio. As demais são excluídas do modelo sejam por não apresentarem uma correlação forte com a variável dependente seja por terem uma intercorrelação recíproca onde acabam não contribuindo de forma significativa quando inseridas no modelo. Desta forma, o modelo proposto se resume à $\hat{y} = 6,614 + 0,998 X_1 + 10,728 X_2$, onde: \hat{y} = Taxa de Homicídio, X_1 = Taxa de Analfabetismo, X_2 = Taxa de Latrocínio. O resultado do modelo tende a priorizar as políticas públicas e sociais para a segurança e educação nas Unidades Federativas do Brasil. Cabe alertar que embora tenha sido considerada apenas a variável taxa de homicídio como representante do indicador de violência (morte) em nenhum momento está

se negando a relevância de outros tipos de violências, seja do tipo emocional que podem causar reflexos até irreversíveis ou uma reação em cadeia de violência, agressão, estupro, roubo ou outros. A limitação teve a finalidade apenas para se ter como foco o índice de homicídio como representante da violência. Nada impede outros pesquisem a existência ou não da correlação de outros elementos de violência, tais como as sofridas pelas crianças, pela população em conflito de guerra, dentre outros.

REFERÊNCIAS

Cerqueira, D. R. de C; Kahn, T.; Murray, J. (2013). **Crime and violence in Brazil: systematic review of time trends, prevalence rates and risk factors**. *Aggression and violent behavior* 18, p. 471-483, Elsevier,

Cunha, J. V. A. da; Coelho, A. C. (2012). **Regressão linear múltipla**. In: análise multivariada, organizadores, Conrarr, L. J.; Paulo, E.; Dias Filho, J. M. São Paulo: Atlas.

Devore, J. L. (2006). **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. (6a. ed). São paulo: cengage learning Ipeadata. Base de dados social (2014). Recuperado em 28 de Maio, 2019 de <http://www.ipeadata.gov.br>.

Ibge/pnad (2014). Recuperado em 28 de Maio, 2019 de <https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>

Huck, S. W. (2008). **Reading statistics and research**. (5a.ed.). Boston: Pearson Education,

Larson, R.; Farber, B. (2010). **Estatística aplicada**. (4a. ed.) São Paulo: Pearson,

Levin, J.; Fox, J. A.; Ford, D. R. (2012). **Estatística para ciências humanas**. (11a. ed). São Paulo

Levine, D. M.; STEPHAN, D. F.; SZABAT, K. A. (2017). **Estatística: Teoria e Aplicações usando MS Excel em Português**. (7a. ed.). Rio de Janeiro: LTC.

Freund, J. Johnson, R. A. **Probability and statistics for engineers**. (2011). (8a. ed). Boston: Pearson.

Rodrigues, A.; Paulo, R. (2012). **Introdução à análise multivariada**. In: Análise multivariada, Organizadores, Conrarr, L. J.; Paulo, E.; Dias Filho, J. M. São Paulo: Atlas.

Soares, A. M. de C. **O acúmulo da violência e da criminalidade na sociedade brasileira e a corrosão dos direitos humanos**. (2014). RIDH, Bauru, v.2, n.º.3, p. 161-189, jul. /dez.

Valente, R. (2019). **Spatial and temporal patterns of violent crime in a Brazil state capital: a quantitative analysis focusing on micro places and small units of time**. *Applied Geography*, 103, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.01.006>.

Wang, K.; CHEN, Z. (2015) **Stepwise Regression and All Possible Subsets Regression in Education**. Recuperado em 22 de junho, 2019 de https://www.researchgate.net/publication/323705113_Stepwise_Regression_and_All_Possible_Subsets_Regression_in_Education.

SOBRE OS ORGANIZADORES

JOÃO DALLAMUTA - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

RENNAN OTAVIO KANASHIRO - Professor na Universidade Norte do Paraná (Unopar). Graduação e Mestrado em Engenharia Mecânica pela UTFPR. Trabalha com temas: Identificação de Sistemas, Problema Inverso e Otimização

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmo 1, 14, 15, 21, 24, 25, 27, 28, 29, 32, 35, 38, 39, 45, 46, 70, 74, 76, 77

B

Bacia Hidrográfica 52, 152, 153, 154, 156, 158, 159

Brasil 14, 34, 47, 49, 57, 58, 72, 81, 86, 97, 142, 150, 160, 161, 162, 171

C

CESC 140, 141

CESCD 140, 141

Cimento 94, 95, 96, 97, 98, 103, 106, 108

Combustão 83, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 92, 93, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 120

Compactação 96, 109, 110, 111, 113, 114, 117, 118, 119, 120

Concept 1, 3, 8, 48

D

Desenvolvimento 15, 16, 17, 47, 48, 50, 53, 71, 80, 84, 95, 97, 109, 142, 143, 150, 152, 156, 159

Dimensionamento 47, 48, 50, 51, 53, 57

Dispositivo 70, 71, 77, 81, 92, 143, 146

E

Estímulo Sensorial 70, 71, 82

F

Ferramentas 31, 59, 67, 147

Ferrovia 14, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 29

Filmes 134, 135, 136, 137, 138, 139

Fotovoltaico 47, 48, 50, 51, 53, 57

G

Geração 21, 32, 39, 42, 43, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 95, 149, 150

L

Linhas de Transmissão 31, 32, 42, 44, 45, 48

M

Manganês 83, 84, 86, 87, 88, 89, 90, 91

Materiais 59, 72, 73, 79, 83, 85, 86, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 103, 106, 109, 110, 111,

120, 123, 124, 127, 130, 133, 135, 141, 143, 147, 149, 162, 173

Metais Pesados 94, 95, 96, 99, 100, 103, 106, 107, 108, 141, 142

Modeling 1, 3, 6, 8, 11, 29, 30

Municípios 152, 154, 156, 158

N

Nanoferrita 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91

O

Óxido de Zinco 109, 110, 111, 112, 114, 116, 118, 120

P

Piezoelétricos 111, 150

Polipropileno 122, 123, 124, 128, 129, 130, 132, 133

Pontos de Cruzamento 14, 15, 16

Process 6, 10, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 71, 84, 108, 110

Projeto 1, 50, 51, 53, 54, 57, 70, 73, 78, 80, 81, 97, 140, 141, 142, 147, 148, 149, 151, 157, 158

Propilenoglicol 134, 135, 138

Propriedades 83, 84, 85, 91, 96, 109, 110, 111, 120, 122, 123, 124, 127, 129, 130, 131, 132, 133, 135, 150, 158

Protótipo 70, 71, 76, 78, 79, 81, 150

R

Redes Neurais 31

REEE 140, 141, 142, 143, 150, 151

Regressão 98, 160, 161, 162, 163, 168, 170, 172

Resíduos Sólidos 94, 95, 97, 106, 142, 158

S

Simulação 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 33, 34, 42, 43, 81

Sinterização 92, 109, 110, 111, 114, 117, 118, 119, 120

Socioambiental 152

Solidificação 94, 95, 97, 99, 103, 106, 108

Sorbitol 131, 133, 134, 135, 138

T

Tecnologia Assistiva 70, 71, 72, 81

Tratamento 46, 70, 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 85, 92, 94, 95, 97, 109, 114, 163

Turbines 1, 2, 3, 6, 7, 8, 10, 11, 12

V

Violência 160, 161, 162, 171, 172

W

Wind 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3


Ano 2020

 www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

AMPLIAÇÃO E APROFUNDAMENTO DE CONHECIMENTOS NAS ÁREAS DAS ENGENHARIAS 3


Ano 2020