

Atena
Editora
Ano 2021



Carlos Augusto Zilli
(Organizador)

*A visão sistêmica e integrada
das **engenharias**
e sua **integração com a sociedade***

Atena
Editora

Ano 2021

Carlos Augusto Zilli
(Organizador)

***A visão sistêmica e integrada
das engenharias
e sua integração com a sociedade***

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – 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
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
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
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
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. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Rio de Janeiro
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
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. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
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
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª 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
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federac 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
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
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
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
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 Miraniilde 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

A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a
sociedade

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Carlos Augusto Zilli.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

V822 A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua
integração com a sociedade / Organizador Carlos
Augusto Zilli. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-404-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.044212508>

1. Engenharia. I. Zilli, Carlos Augusto (Organizador). II.
Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

Esta obra, intitulada “A Visão Sistêmica e Integrada das Engenharias e sua Integração com a Sociedade”, em seu primeiro volume, apresenta 22 capítulos que abordam pesquisas relevantes que fazem emergir esta visão completa e abrangente típica das engenharias, revelando de que forma ela pode se integrar à sociedade para solucionar os desafios que surgem mundo afora, trazendo pesquisas relacionados à COVID, controle de segurança, saneamento básico, sismologia, interações socioespaciais, purificação de biogás, análise de vigas compósitas, pressão em estruturas, entre outros.

Desta forma, esta obra se mostra potencialmente disponível para contribuir com discussões e análises aprofundadas acerca de assuntos atuais e relevantes, servindo como base referencial para futuras investigações relacionadas às engenharias em suas mais diversas instâncias.

Deixo, aos autores dos capítulos, um agradecimento especial, e aos futuros leitores, anseio que esta obra sirva como fonte inspiradora e reflexiva.

Esta obra é indicada para os mais diversos leitores, tendo em vista que foi produzida por meio de linguagem fluída e abordagem prática, o que favorece a compreensão dos conceitos apresentados pelos mais diversos públicos, sendo indicada, em especial, aos amantes da área de engenharia.

Carlos Augusto Zilli

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

COVID-19 (SARS-COV-2): ESTUDO PROSPECTIVO SOBRE TESTES DE DETECÇÃO DO CORONAVÍRUS EM HUMANOS

Paulo Cesar dos Santos Teixeira
Fábio dos Santos Teixeira
Carlos Alberto Machado da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125081>

CAPÍTULO 2..... 11

DIFERENTES SUBSTRATOS E ADUBAÇÕES NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE

Carolina Rafaela Barroco Soares
Alaide de Oliveira Carvalho
Deborah Regina Alexandre
Jairo Rafael Machado Dias
Laysa Teles Vollbrecht
Micheli Leite Zanchetta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125082>

CAPÍTULO 3..... 18

ESTUDO DA PRESSÃO EFETIVA EM COBERTURAS COM PLATIBANDA CONFORME A NBR 6123 – FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES

Gean Henrique Sabino Freitas
Luiz Henrique Moreira de Carvalho
Nélison Ferreira Corrêa
Wilson Espindola Passos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125083>

CAPÍTULO 4..... 31

METODOLOGIA PARA ENSINO DA CONCORRÊNCIA ENTRE PROCESSOS COM EMPREGO DE SEMÁFOROS EM SISTEMAS OPERACIONAIS PREEMPTIVOS

Marco Aurélio de Souza Birchal
Viviane Santos Birchal

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125084>

CAPÍTULO 5..... 41

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO: INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO PARTICIPATIVO, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL

Luiz Roberto Santos Moraes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125085>

CAPÍTULO 6..... 58

APLICAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O PLANEJAMENTO DE FLUXO DE POTÊNCIA

REATIVA

Poliiana Schneider Durigon
Carlos Roberto Mendonça da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125086>

CAPÍTULO 7..... 69

ANÁLISE DA ACELERAÇÃO LATERAL DE UM VEÍCULO EM UM SIMULADOR COM 9 GDL

Elyton Elias Prado Naves
Jánes Landre Júnior
José Tomich Bosco Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125087>

CAPÍTULO 8..... 79

ADEQUAÇÃO DE TRELIÇA EM AÇO FRENTE A UMA NOVA FINALIDADE

Gustavo de Oliveira Dumas
José Geraldo de Araújo Silva
Lucas Teixeira Araújo
Antônio Maria Claret de Gouveia
Hisashi Inoue
André Luiz Candian

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125088>

CAPÍTULO 9..... 86

PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS NA REGIÃO DO MACIÇO DE BATURITÉ, CEARÁ, BRASIL

Juan Carlos Alvarado Alcócer
Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto
Ciro de Miranda Pinto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125089>

CAPÍTULO 10..... 100

ANÁLISE DE VIGAS COMPÓSITAS LAMINADAS DE TIMOSHENKO ATRAVÉS DO MÉTODO DE GREEN

Leonardo Fellipe Prado Leite
Fabio Carlos da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250810>

CAPÍTULO 11 114

ESTRATÉGIAS INOVADORAS PARA PESQUISAS DE EVAPORAÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS SUPERFICIAIS NO NORDESTE BRASILEIRO

Bárbara Hillary de Almeida Pinto
Cecília Roberta Barbosa da Silva
Maria Eduarda Medeiros Monteiro
Heloysa Helena Nunes de Oliveira
Efrain Pantaleón Matamoros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250811>

CAPÍTULO 12..... 124

AMBIÊNCIA E ENTORNO: INTERAÇÕES SOCIOESPACIAIS ENTRE IDOSOS MORADORES DE UM CONDOMÍNIO E A VIZINHANÇA

Luzia Cristina Antoniossi Monteiro

Vania Aparecida Gurian Varoto

Lucas Bueno de Campos

Ingrid Bernardinelli

Gabriely Grezele

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250812>

CAPÍTULO 13..... 136

METODOLOGIA DE COMPOSIÇÃO DE CUSTO PARA ENCARGOS COMPLEMENTARES: EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Guilherme Martins Pereira

Regina Maria Germânio

Tiago Silveira Gontijo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250813>

CAPÍTULO 14..... 155

AVALIAÇÃO DE RISCOS E CONTROLE DE SEGURANÇA EM PEDREIRA

Michael José Batista dos Santos

Suzi Cardoso de Carvalho

Irineu Antônio Schadach de Brum

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250814>

CAPÍTULO 15..... 174

POTENCIAL INOVADOR DAS PESQUISAS DE SISMOLOGIA: ESTUDO DA APLICAÇÃO DA INTERFEROMETRIA SÍSMICA PARA IMAGEAMENTO 4D

Julia Alanne Silvino dos Santos

Marcelo dos Santos Vieira

Lenise Souza Cardoso de Andrade

Heloysa Helena Nunes de Oliveira

Zulmara Virgínia de Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250815>

CAPÍTULO 16..... 184

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DO FOSFATO DE CÁLCIO MONETITA PELA ROTA ÚMIDA DE NEUTRALIZAÇÃO RATHJE – HAYEK E NEWSELY

Nataly Cristiane de Campos Amador Garcias

Carlos Pérez Bergmann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250816>

CAPÍTULO 17..... 196

ESTUDOS DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO MONOFÁSICAS

Emiliane Advincula Malheiros

Roberto Paulo Barbosa Ramos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250817>

CAPÍTULO 18.....203

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO NA FASE DA HIDROXIAPATITA
OBTIDA PELO MÉTODO SOL-GEL**

Marilza Aguiar

José Brant de Campos

Bruno Cavalcante Di Lello

Nataly Cristiane de Campos Amador Garcias

Vitor Ramos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250818>

CAPÍTULO 19.....209

**REDISTRIBUIÇÃO DA VAZÃO AR EM MINA SUBTERRÂNEA PARA AUMENTO DE
HORAS DISPONÍVEIS EM OPERAÇÃO DE LAVRA**

Alisson Brasil

Renan Collantes Candia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250819>

CAPÍTULO 20.....225

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS LIMITES DA CAVA FINAL ÓTIMA COM BASE NA
VARIAÇÃO DO PREÇO DE MERCADO DA ROCHA FOSFÁTICA**

João Antônio da Silva Neto

Marcélio Prado Fontes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250820>

CAPÍTULO 21.....238

**USO DA TECNOLOGIA DE MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA AEROESPACIAL:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Allisson Régis dos Santos Maia

Maria Elizete Kunkel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250821>

CAPÍTULO 22.....253

A IMPORTÂNCIA DOS INDICADORES NA MANUTENÇÃO

Alexandre Fernandes Santos

Heraldo José Lopes de Souza

Marcia Cristina de Oliveira

Sariah Torno

Darlo Torno

Sandro Adriano Zandoná

Tiago Rodrigues Carvalho

Natalia Tinti Ramos

Eliandro Barbosa de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250822>

SOBRE O ORGANIZADOR.....	260
ÍNDICE REMISSIVO.....	261

CAPÍTULO 1

COVID-19 (SARS-COV-2): ESTUDO PROSPECTIVO SOBRE TESTES DE DETECÇÃO DO CORONAVÍRUS EM HUMANOS

Data de aceite: 02/08/2021

Paulo Cesar dos Santos Teixeira

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Pará – IFPA
Belém – Pará
ORCID iD 0000-0003-2578-8247

Fábio dos Santos Teixeira

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Pará – IFPA
Belém – Pará
ORCID iD 0000-0003-4122-1902

Carlos Alberto Machado da Rocha

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Pará – IFPA
Belém – Pará
ORCID iD 0000-0003-3037-1323

RESUMO: SARS-CoV-2 (coronavírus da síndrome respiratória aguda grave 2) é um vírus pertencente à família do Coronaviridae. Esse novo coronavírus é o causador da doença COVID-19, que se tornou uma pandemia mundial em 2020. Dentro desse contexto, o presente artigo teve como objetivo realizar a prospecção científica e tecnológica de testes para detecção do vírus em humanos, sendo para isso utilizada a plataforma LENS. Foram encontradas 9.116 documentos de patentes e 1.117 produções científicas. A evolução anual mostra um crescimento considerável do número de patentes ao longo do período analisado (duas décadas mais recentes). Já com relação aos artigos, ocorreram oscilações, tendo seu ápice em 2014.

A prospecção apontou que os Estados Unidos se destacam na difusão dessas tecnologias.

PALAVRAS-CHAVE: Covid-19; pandemia; coronavírus; prospecção.

COVID-19 (SARS-COV-2): PROSPECTIVE STUDY ON CORONAVIRUS DETECTION TESTS IN HUMANS

ABSTRACT: SARS-CoV-2 (coronavirus of severe acute respiratory syndrome 2) is a virus belonging to the Coronaviridae family. This new coronavirus is the cause of COVID-19 disease, which became a global pandemic in 2020. Within this context, this article aimed to conduct scientific and technological prospection of tests for detection of the virus in humans, being used for this purpose the LENS platform. A total of 9,116 patent documents and 1,117 scientific productions were found. Annual developments show a considerable growth in the number of patents over the period analyzed (two more recent decades). In relation to the articles, there were oscillations, having their apex in 2014. The prospection pointed out that the United States stands out in the diffusion of these technologies.

KEYWORDS: Covid-19; pandemic; coronavirus; prospecting.

1 | INTRODUÇÃO

Os coronavírus são vírus de RNA, da família Coronaviridae, largamente disseminados entre uma variedade de animais domésticos e selvagens, bem como em humanos e causam

doenças respiratórias, intestinais, hepáticas e neurológicas. (WEISS; LEIBOWITZ, 2011). Desses coronavírus, três são causadores de infecção respiratória grave em humanos: SARS-CoV (SARS), MERS-CoV (MERS) e o novo SARS-CoV-2, causador da COVID-19 (LAI *et al.*, 2020).

A SARS (síndrome respiratória aguda grave) é um distúrbio infeccioso que foi diagnosticado pela primeira vez na China em novembro de 2002 e posteriormente disseminado em todo o mundo (BOOTH *et al.*, 2003), sendo registrados mais de 8.000 casos, com 774 mortes (OMS, 2003). A MERS (síndrome respiratória do Oriente Médio) surgiu na Arábia Saudita em 2012, também associada a infecções respiratórias graves (OMRANI *et al.*, 2015) e teve 2.494 casos confirmados, com taxa de letalidade de 34% (PEERI *et al.*, 2020).

Em dezembro de 2019, surge a COVID-19 (“COVID” significa **CO**rona **VI**rus **D**isease = Doença do Coronavírus, enquanto “19” se refere a 2019, ano em que os primeiros casos foram divulgados), descoberta em pacientes com pneumonia de causa desconhecida na cidade de *Wuhan*, província de *Hubei* na China. (ZHU *et al.*, 2019). Os sintomas mais comuns identificados entre os pacientes são febres, seguidas de tosse (LAI *et al.*, 2020).

Os dados até o momento indicam que cerca de 80% dos casos confirmados de COVID-19 foram assintomáticos ou apresentaram sintomas leves, 15% manifestaram infecções graves, requerendo auxílio de oxigênio e 5% foram considerados críticos e demandavam cuidados médicos específicos como ventilação mecânica (OMS, 2020).

Em 11 de março de 2020, a Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou o COVID-19 uma doença pandêmica (ONU, 2020). De acordo com o relatório 149 da OMS sobre a situação do COVID-19 pelo mundo, divulgado em 17 de junho de 2020, até aquele momento havia 8.061.550 casos confirmados, com 440.290 mortos e, ainda segundo o relatório, o Brasil aparece em segundo lugar em número de casos e vítimas, atrás apenas dos Estados Unidos (OMS, 2020).

Esse cenário é preocupante, visto que a transmissão da COVID-19 ocorre principalmente por meio de gotículas respiratórias geradas quando a pessoa tosse ou espirra, contato direto com os indivíduos infectados ou pelo contato com superfícies e objetos contaminados (CARVALHO *et al.*, 2020; MALIK, 2020).

Diante disso, torna-se recomendável a realização de testes para detecção do vírus em todas as pessoas, independente de apresentar ou não os sintomas, haja vista que 80% dos casos confirmados apresentaram sintomas leves ou são assintomáticos (não apresentam nenhum sintoma característico como: febre, tosse ou dificuldades em respirar), sendo, contudo, portadores do vírus e com isso potenciais transmissores. Então, a realização do teste molecular seria a resposta final e precisa sobre a presença do vírus no indivíduo.

O diagnóstico laboratorial considerado padrão ouro para a identificação do novo coronavírus (SARS-CoV-2) continua sendo a RT-PCR em tempo real (BRASIL, 2020). A

sigla RT-PCR significa “transcrição reversa seguida de reação em cadeia da polimerase” (*Reverse Transcription Polymerase Chain Reaction*, em inglês). Esta reação é composta de duas partes: a transcrição reversa e a amplificação propriamente dita. Seu principal diferencial é que, na verdade ela não parte de um molde de DNA diretamente extraído da amostra; a amostra fornece o RNA, que é convertido em cDNA (DNA complementar). O cDNA obtido é, então, utilizado na PCR (VIEIRA, 2002), permitindo obter em algumas horas, milhões de réplicas desse cDNA, que será ou não identificado como relacionado ao agente infeccioso em questão.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma prospecção científica e tecnológica dos testes de detecção para o coronavírus em humanos com potencial de aplicação, por meio de buscas de patentes e produções científicas sobre o tema, analisando sua variação ao longo do tempo no cenário mundial, além de verificar a relação entre o aumento de produções e a ocorrência de casos de coronavírus.

2 | METODOLOGIA

Para realizar a busca de produções científicas e tecnológicas sobre testes de detecção do coronavírus em humanos, foi utilizada a plataforma LENS (www.lens.org), uma plataforma aberta, que realiza buscas em conjunto com outras bases como, por exemplo: *European Patent Office* (EPO), *World Intellectual Property Organization* (WIPO), *United States Patent and Trademark Office* (USPTO), *PubMed*, *Crossref* e a *Microsoft Academic*. Optou-se por essa ferramenta porque o LENS realiza pesquisa e análise acadêmica e de patentes mapeando o conhecimento global sobre inovação.

Após a escolha da ferramenta foi realizada a estratégia de pesquisa. Primeiramente foram selecionadas as palavras relacionadas ao tema que iriam constar na pesquisa. Após terem sido selecionadas, foi decidido que as palavras seriam em língua inglesa, devido a sua maior abrangência em pesquisa. Aspirando obter o máximo dos resultados, foi aplicado o operador booleano “AND” e de truncagem “()”. Com isso, ficou definida a expressão de busca “*test AND (RT-PCR AND (coronavirus AND humans))*”.

Essa forma facilitou a busca na plataforma, visto que, existe uma área que permite uma pesquisa estruturada tanto de trabalhos acadêmicos quanto de patentes. Após essa etapa, foi definido o período de tempo da pesquisa. Tanto os artigos quanto as patentes ficaram limitados aos dados de publicação no período que compreende de 2000 a 2020. Essa faixa de anos foi escolhida, devido ao interesse em desenvolvimentos tecnológicos considerando os 20 anos de vida de uma patente e seu sigilo de 18 meses. Com isso, foi realizada a coleta dos dados, sendo efetuada em 17 de junho de 2020. A Tabela 1 mostra a expressão de busca e os resultados gerais.

EXPRESSÃO DE BUSCA	
<i>"test AND (RT-PCR AND (coronavirus AND humans))"</i>	
Resultados/ Período (2000-2020)	
Produções Científicas (Artigos)	Produções Tecnológicas (Patentes)
1.117	9.116

Tabela 1 – Termo utilizado na busca e o número de resultados obtidos.

Fonte: Autoria própria (2020).

Após aplicação da metodologia obtivemos os seguintes resultados referentes a testes de detecção para o coronavírus em humanos: 1.117 artigos (produções científicas) e 9.116 patentes (produções tecnológicas) distribuídas em 2.918 famílias (cada família de patentes refere-se a uma mesma invenção depositada em diferentes países). Importante frisar que esses documentos de patentes incluem tanto patentes depositadas quanto concedidas.

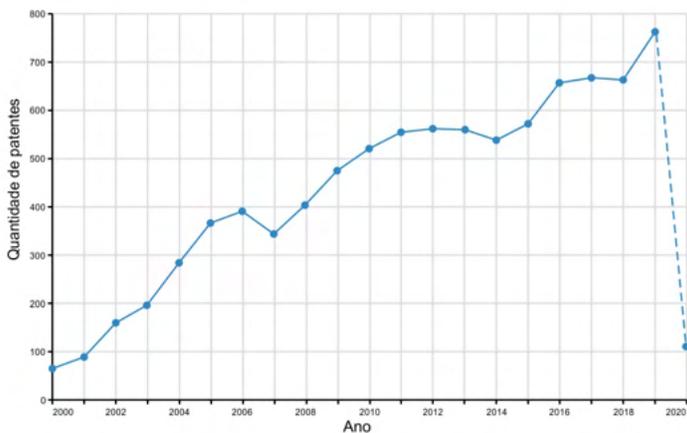
3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após análise preliminar dos resultados obtivemos as seguintes impressões. A pesquisa demonstrou um grande desenvolvimento de patentes referentes a testes de detecção do coronavírus para humanos, além de também incluir resultados para animais. Esses resultados são importantes, pois, evidenciam que há interesse no tema. Com relação aos artigos foi possível inferir as mesmas impressões a respeito do interesse pelo assunto.

A Figura 1 indica o quantitativo anual apurado de patentes (Figura 1A) e de artigos (Figura 1B). Como a Figura 1A trata de patentes, os dados dos anos de 2019 e 2020 ainda não serão considerados devido estarem no período de sigilo de 18 meses de uma patente. De acordo com essa figura, pode-se observar que as patentes obtiveram um crescimento quase constante, com pequenas variações no decorrer dos anos. A partir do ano de 2002, esse resultado pode ter sido impulsionado pelo surgimento e desenvolvimento do surto de SARS-CoV (coronavírus da síndrome respiratória aguda grave) em 2002 na China.

Ao analisarmos os artigos (Figura 1B), percebemos pequenas variações até o ano de 2012, quando houve um salto, até atingir o ápice em 2014. É importante frisar que o salto após 2012, pode ter sido impulsionado pelos casos de MERS (síndrome respiratória do Oriente Médio). Após o ápice de 2014, as produções apresentaram um decréscimo até o ano de 2019. Também é possível observar no gráfico que o ano de 2020 já apresenta um aumento significativo no número de artigos, motivado sobretudo pela pandemia de COVID-19 em curso.

(A) Quantidade de Patentes



(B) Quantidade de Artigos

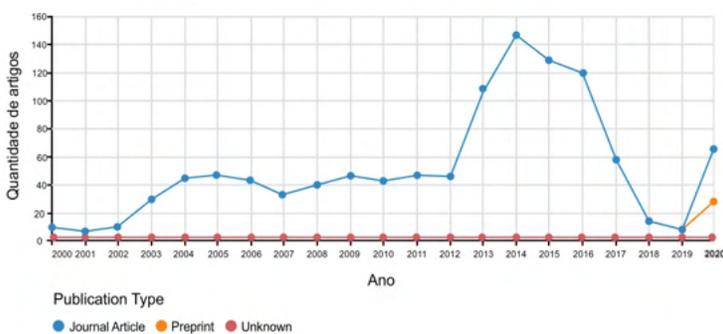


Figura 1 – Quantidades de patentes e de artigos por ano relativo a testes de detecção para coronavírus em humanos.

Fonte: LENS. <https://www.lens.org/lens> (2020).

Na Figura 2 são apresentados os mapas dos países desenvolvedores de produções tecnológicas (Figura 2A) e de países desenvolvedores de produções científicas (Figura 2B) referentes a testes de detecção para coronavírus em humanos. Pode-se observar que poucos países são detentores das tecnologias, tanto que somente os Estados Unidos representam (56%) dos depósitos de patentes referentes ao tema, seguidos pela Austrália com (16%). Além disso, é importante frisar que 22% das patentes são depositadas na OMPI (Organização Mundial da Propriedade Intelectual) via PCT (*Patent Cooperation Treaty*, em inglês). Em termos de artigos, verifica-se que existe uma distribuição maior entre os países e novamente os Estados Unidos lideram com 19% das publicações, seguido da China com 11%. É importante salientar ainda que o Brasil aparece na lista com 1,5% dos artigos publicados. Esses resultados são interessantes, pois, revelam a existência de grande interesse científico e tecnológico por esse tema, principalmente pelo os Estados Unidos.

Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BRASIL, 2018), as principais economias do mundo investem fortemente em pesquisa e desenvolvimento, e nos países líderes em desenvolvimento tecnológico as empresas investem ainda mais do que o governo nessas atividades. Em países como os Estados Unidos e China, as empresas são responsáveis por mais de 70% dos dispêndios nacionais de pesquisa e desenvolvimento. Certamente isso representa um dos principais fatores que explicam o protagonismo desses países.

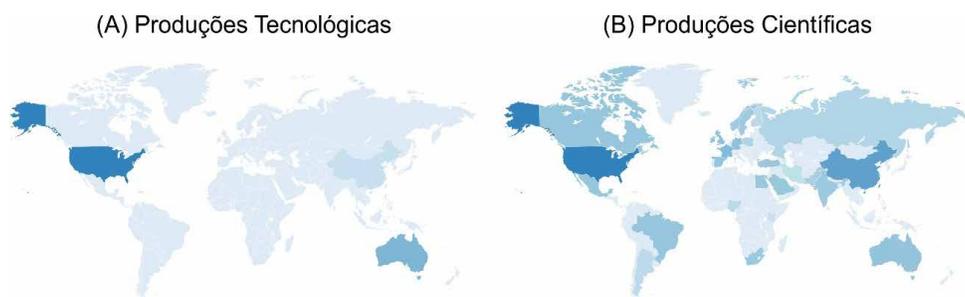


Figura 2 – Mapas mundiais de países desenvolvedores de produções tecnológicas (A) e produções científicas (B) de testes de detecção para coronavírus em humanos. A cor azul sofre uma gradação quanto mais intensa mais representativa.

Fonte: LENS. <https://www.lens.org/lens> (2020)

A Figura 3 apresenta as principais instituições por número de trabalhos acadêmicos (Figura 3A) e por número de proprietários de patentes (Figura 3B) referentes ao tema. Pode-se observar na Figura 3A que entre as 10 instituições que mais publicaram artigos científicos, a Universidade de *Hong Kong* lidera com 46 publicações, seguida pelo CDC (Centros de Controle e Prevenção de Doenças) dos Estados Unidos com 40. Esses resultados do CDC podem ser explicados pelo fato do mesmo ser uma agência do departamento de saúde americano e por sua ligação com a Universidade *Emory*, que é reconhecida como um dos melhores sistemas de cuidados da saúde do sudeste do país.

Já, quando se observa as proprietárias de patentes (Figura 3B), vê-se que entre as 10 principais instituições, a *Ibis Biosciences* lidera com 146 patentes, seguida da *Ibis Pharmaceuticals* com 77. A *Ibis Biosciences* é uma empresa norte-americana de biotecnologia fundada em 2006, que desenvolve, fabrica e comercializa produtos para a identificação e caracterização de agentes infecciosos (IBIS BIOSCIENCES, 2020).

A *Ibis Pharmaceuticals*, que em dezembro de 2015 anunciou a mudança de nome para *Ionis Pharmaceuticals, Inc.*, desenvolve medicamentos direcionados a RNA, e para pacientes com doenças raras e graves (IONIS, 2020). Essa informação é interessante se analisarmos que a técnica conhecida como RT-PCR já citada anteriormente utiliza métodos de RNA para detectar o RNA viral do novo coronavírus.

Chama-se ainda a atenção para o fato de que algumas das instituições que detêm patentes referentes ao tema são Universidades como a Universidade de *Harvard*, uma das mais prestigiadas do mundo, tendo 47 patentes referentes ao tema. Isso é importante, pois permite que as Universidades não fiquem limitadas apenas ao conhecimento científico, mas também adentrem na pesquisa tecnológica, permitindo aproximar-se da indústria. Espera-se que essa mentalidade também venha a difundir-se entre as Universidades brasileiras, incentivando o desenvolvimento da inovação tecnológica e proporcionando uma maior interação da tripla hélice da inovação, formada pelo governo, academia e empresas.

(A) Principais instituições acadêmicas



(B) Principais instituições proprietárias de patentes



Figura 3 – Principais instituições por número de trabalhos acadêmicos e por número de patentes.

Fonte: LENS. <https://www.lens.org/lens> (2020).

A Figura 4 mostra o quantitativo de patentes pela Classificação Cooperativa de Patentes (CPC, sigla em inglês). A CPC é o sistema de classificação criado pelo EPO/USPTO, baseado na Classificação Internacional de Patentes (IPC, sigla em inglês), sendo apenas mais detalhado. Enquanto o IPC possui em torno de 70 mil grupos, a CPC possui

em torno de 200 mil grupos de patentes (INPI, 2020).

É importante destacar que cada parte desse código tem um significado específico que ajudará a identificar a que grupo(s) o pedido de patente se refere, facilitando a identificação de outros pedidos relacionados ao mesmo fim. Com essas informações preliminares, pode-se observar que a CPC mais representativa utilizando a expressão de busca foi a C07K14/005 com 278 resultados, seguida da C12Q1/701 com 255 e C12N7/00 com 254.

A maioria dos resultados ocorre, portanto, em duas classes: a classe C07, que se refere a “química orgânica”; a classe C12, que inclui “bioquímica; cerveja; álcool; vinho; vinagre; microbiologia; enzimologia; engenharia genética ou de mutação”.

De acordo com a classificação, o código completo C07K14/005 refere-se a “peptídeos com mais de 20 aminoácidos; gastrinas; somatostatinas; melanotropinas; derivados de vírus”. C12Q1/701 refere-se a “processos de medição ou ensaio envolvendo enzimas, ácidos nucleicos ou microorganismos; envolvendo vírus ou bacteriófagos”. Já C12N7/00 refere-se a “vírus, p. ex. bacteriófagos; suas composições; sua preparação ou purificação”.

185 A61K38/00	132 A61K39/00	182 A61K39/12	278 C07K14/005	134 C07K2319/00
254 C12N7/00	175 C12Q1/689	255 C12Q1/701	131 C12Q2600/158	170 C12N15/86

Figura 4 – Classificação de CPC referentes a testes de detecção para o coronavírus em humanos.

Fonte: LENS. <https://www.lens.org/lens> (2020).

Em acréscimo, nota-se na figura a presença destacada da classe A61 (ciência médica ou veterinária; higiene). A classificação A61K38/00 com 185 resultados refere-se a “preparações medicinais contendo peptídeos”. Esses dados demonstram que além das patentes de testes para detecção do coronavírus, também foram recuperadas patentes de medicamentos para o seu combate.

4 | CONCLUSÃO

A realização deste estudo permitiu a verificação do cenário mundial das pesquisas científicas e tecnológicas desenvolvidas até o presente momento, referentes a teste de detecção do coronavírus em humanos. A prospecção realizada revelou que os Estados Unidos correspondem ao país que detém o maior número de patentes depositadas e concedidas relacionadas ao tema, demonstrando um volume significativo de conhecimento.

A quantidade, tanto de produções científicas quanto tecnológicas, desenvolveu-se consideravelmente nos últimos anos, sobretudo a partir do ano de 2002, quando ocorreu o primeiro caso de infecção respiratória grave em humanos, causada pelo SARS-CoV,

posteriormente pelo MERS-CoV em 2012 e agora pelo SARS-CoV-2 causando a COVID-19.

Nesse cenário Global de contágio pelo SARS-CoV-2, uma das soluções para o enfrentamento do problema são medidas de saúde pública já adotadas pelos países para responder à pandemia, incluindo a realização de testes de detecção do vírus e as ações conjuntas necessárias para limitar sua propagação.

Provavelmente haverá um crescimento de produções científicas e tecnológicas, devido à pandemia, visto que, ainda existe um vasto campo praticamente inexplorado para pesquisa e desenvolvimento de testes para o COVID-19 em humanos. E futuros estudos deverão explorar detalhadamente os diversos testes para o coronavírus. Além disso, o número de testes deve aumentar nos próximos anos, potencializando o uso, uma vez que os procedimentos laboratoriais são essenciais e indispensáveis para a detecção do vírus em todo o mundo. E para isso as agências reguladoras terão um papel relevante para permitir a entrada no mercado de produtos com eficácia, conveniência e custo-benefício demonstrados, haja vista que o tempo e o custo de desenvolvimento dos testes deverão reduzir devido à necessidade de produção em larga escala proporcionada pela pandemia.

Espera-se que o desenvolvimento de testes para a detecção do coronavírus em humanos seja mais assertiva e ágil, possibilitando um rápido diagnóstico da doença e proporcionando tratamentos preventivos e de cuidados paliativos, reduzindo a mortalidade e o número de pacientes em todo o mundo.

REFERÊNCIAS

BOOTH, C.M *et al.* **Clinical features and short-term outcomes of 144 patients with SARS in the greater Toronto area** JAMA, 289 (2003), pp. 2801-2809. DOI:10.1001/jama.289.21.JOC30885. Disponível em: <<https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/196681>>. Acesso em: 29 de março de 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boletim Epidemiológico 03: Doença pelo novo coronavírus 2019 – COVID-19**. Brasília: Ministério da Saúde; 2020. Disponível em: <<https://portalquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2020/fevereiro/21/2020-02-21-Boletim-Epidemiologico03.pdf>>. Acesso em: 18 de junho de 2020.

BRASIL. **Plano de ação para a promoção da inovação tecnológica: 2018-2022**. Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Brasília, DF: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, 2018.

CARVALHO, A.P. **Novo coronavírus (COVID-19), Nº 14**, Fevereiro de 2020. Sociedade Brasileira de Pediatria. Disponível em: <https://www.sbp.com.br/fileadmin/user_upload/22340d-DocCientifico_-_Novo_coronavirus.pdf>. Acesso em: 29 de março de 2020.

INPI – INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL. **Classificação de patentes, 2020**. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/patente/classificacao-de-patentes.>> Acesso em: 29 março 2020.

IONIS. Disponível em: < <https://ir.ionispharma.com/news-releases/news-release-details/isis-pharmaceuticals-changes-name-ionis-pharmaceuticals>>. Acesso em: 29 março 2020.

IBIS BIOSCIENCES. Disponível em: < <https://www.crunchbase.com/organization/ibis-biosciences>>. Acesso em: 29 março 2020.

LAI, Chih-Cheng *et al.* **Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and Coronavirus Disease-2019 (COVID-19): The Epidemic and the Challenges.** International Journal of Antimicrobial Agents, [S.l.], v. 55, n. 3, 2020. DOI:10.1016/j.ijantimicag.2020.105924. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32081636>>. Acesso em: 29 de março de 2020.

LENS. Disponível em: <<https://www.lens.org/>>. Acesso: 17 junho de 2020.

MALIK, Y. A. **Properties of Coronavirus and SARS-CoV-2.** Malaysian Journal of Pathology. v. 42, n. 1, p. 3-11, 2020.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Organização Mundial da Saúde declara novo coronavírus uma pandemia.** 11 março 2020. ONU News. Disponível em: < <https://news.un.org/pt/story/2020/03/1706881>>. Acesso em: 29 março de 2020.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Resumo dos prováveis casos de SARS com início da doença de 1 de novembro de 2002 a 31 de julho de 2003.** WHO. Disponível em: < https://www.who.int/csr/sars/country/table2003_09_23/en/>. Acesso: 29 março de 2019.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report – 46.** March 2020. WHO. Disponível em: <<https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200306-sitrep-46-covid-19.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2020.

OMRANI, Ali.S. *et al.* **Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV): animal to human interaction.** Pathogens and Global Health, Volume 109, 2015 - Issue 8; p.354-362. DOI:10.1080/20477724.2015.1122852. Disponível em: < <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20477724.2015.1122852>>. Acesso em: 29 de março de 2020.

PEERI, N. C. *et al.* **The SARS and MERS, and novel coronavirus (COVID-19) epidemics, the newest and biggest global health threats: what lessons have we learned?** Int J Epidemiol, [S.l.], v. 22, Feb, 2020. DOI: 10.1093/ije/dyaa033. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32086938>>. Acesso em: 29 de março de 2020.

VIEIRA, D. P. **Técnicas de PCR: Aplicações e Padronização de Reações.** USP, 2002. Disponível em: <<http://www.imt.usp.br/wp-content/uploads/proto/protocolos/aula1.pdf>>. Acesso em: 18 de junho de 2020.

WEISS, S.R; LEIBOWITZ, J.L. **Coronavirus Pathogenesis.** Advances in Virus Research. Volume 81, 2011, Pages 85-164. DOI: 10.1016/B978-0-12-385885-6.00009-2. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123858856000092>>. Acesso em: 29 de março de 2020.

ZHU, Na *et al.* **A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China,** 2019. The New England Journal of Medicine, 2020; 382:727-733. DOI: 10.1056/NEJMoa2001017. Disponível em: <<https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2001017>>. Acesso em: 29 de março de 2020.

CAPÍTULO 2

DIFERENTES SUBSTRATOS E ADUBAÇÕES NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE

Data de aceite: 02/08/2021

Carolina Rafaela Barroco Soares

Alaide de Oliveira Carvalho

Deborah Regina Alexandre

Jairo Rafael Machado Dias

Laysa Teles Vollbrecht

Micheli Leite Zanchetta

RESUMO: Rondônia buscando ampliação das atividades econômicas, vem investindo no cultivo de essências florestais exóticas. O eucalipto é uma planta que corresponde bem às expectativas do produtor em pouco tempo, visando isto, este trabalho teve como objetivo as avaliações do crescimento de mudas de Eucaliptos sob 2 diferentes substratos, com diferentes doses de adubação. O experimento foi conduzido utilizando como substrato um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Argiloso. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com arranjo fatorial (2 x 5), sendo eles: fator 1- solo de mata + areia e solo de mata e o fator 2 – Testemunha, NPK+Micro, NPK+Micro+Calcio; NPK+Micro+Gesso; NPK+Micro+Calcio+Gesso, e com 3 repetições, onde cada tratamento foi representado por 15 mudas. As doses usadas foram FH-480 2146,87 mg.dm-3, 100 mg dm-3 de N na forma de ureia, 150 mg dm-3 de P2O5 na forma de superfosfato simples e 150 mg dm-3 de K2O na forma de cloreto de potássio e

micronutrientes. As avaliações foram realizadas 45 dias após o transplante das mudas. Os parâmetros analisados foram: altura; diâmetro do coleto; Índice relativo de clorofila; comprimento da raiz; massa seca total; índice de qualidade de Dickson. Solo de mata com adubação NPK+M+G mostrou-se superior no desenvolvimento das mudas de Eucalipto.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de Qualidade de Dickson, substrato; física do solo; Qualidade de mudas, Essências florestais.

INITIAL GROWTH OF EUCALYPTUS UROPHYLLA S.T. BLAKE IN RESPONSE TO DIFFERENT TYPES OF SUBSTRATES AND FERTILIZERS

ABSTRACT: Rondônia, seeking to expand economic activities, has been investing in the cultivation of exotic forest essences. Eucalyptus is a plant that responds well to the expectations of the producer in a short time, aiming at this, this work aimed to assess the growth of Eucalyptus seedlings under 2 different substrates, with different fertilizer doses. The experiment was conducted using a Dystrophic Red-Yellow Latosol as substrate. The design used was completely randomized, with a factorial arrangement (2 x 5), namely: factor 1- forest soil + sand and forest soil and factor 2 - Witness, NPK + Micro, NPK + Micro + Calcio; NPK + Micro + Plaster; NPK + Micro + Calcio + Plaster, and with 3 repetitions, where each treatment was represented by 15 seedlings. The doses used were FH-480 2146.87 mg.dm-3, 100 mg dm-3 of N in the form of urea, 150 mg dm-3 of P2O5 in the form of simple superphosphate and 150 mg dm-3 of K2O in

the form of potassium chloride and micronutrients. The evaluations were performed 45 days after transplanting the seedlings. The parameters analyzed were: height; collection diameter; Relative chlorophyll index; root length; total dry mass; dickson's quality score. Forest soil with NPK + M + G fertilization proved to be superior in the development of Eucalyptus seedlings.

KEYWORDS: Dickson's Quality Index, substrate; Soil physics; Seedling quality, Forest essences.

INTRODUÇÃO

Como consequência do desmatamento regional o estado de Rondônia atualmente vem optando pelo plantio de essências florestais exóticas, destacando o Eucalyptus como o gênero mais utilizado por possuir elevada produtividade. O estado vem desenvolvendo plantios dessa origem a pouco tempo, devido a atividade ser recente não foram desenvolvidos clones específicos para as características da região, fazendo com que muitos produtores ainda optem pelo uso de mudas de origem seminais. Existem grandes variedade de Eucalyptus sendo o Eucalyptus urophylla S.T. Blake uma delas, tal espécie é natural do Timor e Indonésia, ocorre em florestas tropicais pluviais, desenvolvendo-se em solos diversificados (MOURA. 2004; CIPRIANI et al., 2012).

Para realização de um plantio de qualidade deve-se ater aos tratos desde a produção das mudas, pois através da qualidade das mudas pode-se prever o desenvolvimento e produção do plantio. Para tanto faz-se necessário além do tratos silviculturais de praxe, a adubação das mudas e acompanhamento das mesmas. Os macronutrientes fósforo e o potássio estão entre os nutrientes requeridos em maior quantidade para o crescimento do Eucalyptus sp. Sendo que a fertilização nitrogenada tem trazido respostas significativas da planta nos seus estágios iniciais de crescimento ou a campo (WILCKEN et al., 2008; CIPRIANI et al., 2015).

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o desenvolvimento inicial e a qualidade de mudas de Eucalyptus urophylla S.T. Blake nos substratos solo de mata e solo de mata + areia sob diferentes adubações.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campus de Rolim de Moura da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), em casa de vegetação a qual possui nove metros quadrados, coberta por lona branca transparente. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, com temperatura média de 28 °C, precipitação anual média de 2.250 mm, com umidade relativa em torno de 85%, apresentando seca bem definida entre os meses de maio a agosto, podendo se prolongar até setembro (LEITE et al., 2011).

As mudas obtidas são de origem seminal e foram transplantadas para sacos plásticos com capacidade de 3,09 dm³, os substratos utilizados foram os solos dos fatores

1 e 2, respectivamente, Solo de Mata e Solo de Mata +Areia (1:1). O Solo de Mata é um solo do tipo Latossolo Vermelho- Amarelo distrófico argiloso com correção de calagem. O solo foi obtido no campo experimental da Fundação Universidade Federal de Rondônia. As fontes de adubo utilizados foram o fertilizante comercial FH, N na forma de ureia, K na forma de K₂O, P na forma de superfosfato simples e micronutrientes (FTE). As adubações foram realizadas no dia do transplântio das mudas através da incorporação, seguindo a recomendação para cada fator. As doses usadas foram FH-480 2146,87 mg.dm⁻³, 100 mg dm⁻³ de N na forma de ureia, 150 mg dm⁻³ de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 150 mg dm⁻³ de K₂O na forma de cloreto de potássio (KCL).

A utilização de fertilizantes simples serviu para complementar o que faltava do FH-480 para alcançar a recomendação exigida. As irrigações foram diárias de forma manual no final da tarde durante todo o experimento. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) com arranjo fatorial de 2x5, com 3 repetições e 15 mudas por tratamento, totalizando 150 mudas.

Os parâmetros analisados no final do experimento foram: altura da planta (H), utilizando régua graduada; diâmetro do coleto (DC), obtido através de paquímetro digital modelo 502.200BL; Índice relativo de clorofila (IRC), obtido através de um clorofilometro; comprimento da raiz (CR), obtido através de régua graduada; massa seca total (MST), secos em estufa a 60°C por 24 horas e obtidos em balança de precisão; índice de qualidade de dickson (IQD).

Todos os parâmetros obtidos no final do experimento foram analisados pelo teste Scott-Knott através do programa Assisat 7.7 Beta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O parâmetro altura apresentou diferença significativa entre substrato para as testemunhas, não apresentando interação entre solos e adubações (Fator 1 e Fator 2). Para Gomes et al. (2003) uma muda de qualidade apresentará uma altura de 20-35 cm para espécies florestais. Logo as mudas de *E. urophylla* ficaram dentro do padrão exigido quando cultivadas sem estímulo de fertilizantes (Tabela 01).

Fator 1	H	DC	CR	MST	IRC	IQC
Substrato						
SM	50,18a	4,22a	24,58b	8,14a	42,05a	0,52a
SM+A	50,55a	4,42a	29,77 ^{***}	9,57a	43,29a	0,73a
Fator 2						
Adubação						
TEST.	57.64a ^{**}	4.57a	30.52 a	8.73a	37.26b [*]	0.61a
NPK+M	49.56b	4.75a	26.99a	9.16 a	44.00a	0.75a
NPK+M+C	47.46b	3.92b ^{**}	26.54a	8.64a	44.11a	0.64a
NPK+M+G	47.36b	3.94b ^{**}	21.29b [*]	9.18a	44.05a	0.53 a
NPK+M+C+G	49.80b	4.44a	30.54a	9.25 a	3.91a	0.60a

Legenda: H: altura das mudas em cm, DC: diâmetro do coleto em mm, e Comprimento da Raiz em cm, Massa Seca Total em g, Índice relativo de clorofila e ; Índice de Qualidade de Dickson.

^{**}significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); ^{*} significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 < p < .05$); ns não significativo ($p \geq .05$). As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Tabela 01. Avaliação da altura (H), diâmetro do coleto (DC) e comprimento da raiz (CR) de mudas de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake sob diferentes substratos e adubações, realizadas pelo teste Scott-Knott. Rolim de Moura – RO, 2017.

Para o parâmetro DC houve interação entre os fatores, a adubação NPK+M+G apresentando maior valor de media quando aplicado ao SM. Segundo Novaes et al (1990) aplicação de calcário para elevar a produtividade é alcançada pelo incremento no teor de cálcio e magnésio no solo. Os dados obtidos para o DC estão dentro do observado por Oliveira Junior (2009) em mudas de eucalipto sob diferentes tipos de substrato, que variaram entre 1,99 mm e 3,01 mm. Para Cunha et al, (2005) um baixo valor de DC pode causar o tombamento da muda quando levada a campo, causando morte ou deformação das mudas, comprometendo o resultados do plantio.

O CR apresentou interação entre os fatores 1 e 2, mostrou diferença estatística no tratamento NPK+M+G com SM. Segundo Camilo (2007) a aplicação do gesso promove a movimentação do cálcio magnésio e enxofre no perfil do solo, e por tanto propicia um ambiente químico favorável para o desenvolvimento radicular. Para Freitas et al. (2005) o sistema radicular mal formado inibirá o desenvolvimento da muda quando levada a campo, elevando os gastos de controle de ervas daninhas ou ocasionando mortalidade das mudas. Um sistema radicular bem desenvolvido proporciona a planta maior sobrevivência a situações de estresses ambientais.

Os parâmetros de massa seca avaliam a biomassa das mudas, sendo determinantes para estabelecer o estado físico da planta. Esses parâmetros mostram como estão suas reservas, para adaptação e desenvolvimento. Para melhor entender quanto maior desenvolvimento do dossel melhor penetração de luz e melhor absorção de foto assimilados (OLIVEIRA et al; 2015; SOUZA et al.,2012; NADAI et al.,2015).

O IRC não apresentou interação entre os fatores, porém as mudas que não receberam adubações apresentaram resposta estatística quando comparada aos outros tratamentos. Santos et al (2015) observou que para gramínea a mistura de 3:1 de composto com areia mostrou-se positiva para teor de clorofila no cultivo de gramíneas. Segundo Godoy et al (2008) o teor de clorofila das folhas das culturas é proporcional a nutrientes fundamentais, como o nitrogênio. Logo o teor de clorofila se correlaciona com o nitrogênio e expressa a produtividade da cultura. Logo as mudas de *E. urophylla* apresentaram exigência nutricionais para o parâmetro clorofila.

Em todos os tratamentos as mudas de *E. urophylla* apresentaram IQD dentro do observado por Azevedo et al (2010) que afirmam que em muitos estudos valores inferiores a 0,20 são considerados baixos, para uma muda de boa qualidade, esses estudos são referentes à mudas de eucalipto produzidas em recipientes pequenos. O IQD é o parâmetro que avalia o vigor e o equilíbrio da muda em relação a biomassa. Dentre os tratamentos realizados pode-se observar valores dentro do observado em outras literaturas.

O eucalipto é uma espécie florestal tolerante à acidez do solo, ou seja, apresenta bom crescimento mesmo em solos com alta acidez trocável e ativa (Novais. et al., 1990), sendo, portanto, dispensável a calagem com o objetivo de corrigir a acidez do solo (Barros & Novais, 1999). Mesmo a espécie sendo pouco exigente, pode-se observar respostas superiores quando plantada no substrato solo de mata com adubação de NPK+M+G.

CONCLUSÃO

O substrato solo de mata com adubação NPK+M+G mostrou-se superior no desenvolvimento de diâmetro do coleto e comprimento de raiz para mudas de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, I. M. G.; ALENCAR, R. M.; BARBOSA, A. P.; ALMEIDA, N. O. Estudo do crescimento e qualidade de mudas de Marupá (*Simarouba amara* Aubl) em viveiro. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 1, p. 157-164, 2010.

BARROS, N. F. NOVAIS, R. F. Sugestões de adubação para Grandes Culturas Anuais ou Perenes: Eucalipto. In: RIBEIRO, A.C; GUIMARÃES, P. T. G. & ALVAREZ V., V. H., (Ed). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais** (5 Aproximação). Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.305-307.

CAMILO, N.F.P. **Produtividade do cafeeiro em resposta ao manejo da calagem e gessagem em Latossolos de Cerrado**. 2007. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CIPRIAN, H. N; VIEIRA, A. H; MENDES, A.M; MARCOLAN, A. L. Há sempre resposta à adubação de manutenção do eucalipto? Um estudo de caso em Porto Velho (RO). **Embrapa Rondônia**. Porto Velho, RO. 2015.

CIPRIANI, H. N.; VIEIRA, A. H.; MENDES, A. M.; MARCOLAN, A. L. Crescimento inicial de clones de eucalipto em função de doses de P e K em Porto Velho, Rondônia. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIA DO SOLO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 1.; Encontro De Laboratórios Da Amazônia Ocidental, 2012, Humaitá, **Anais[...]**. Humaitá: SBCS, 2012. p. 192-197.

CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. D.; BRUNO, R. D. L. A.; SILVA, J. D.; SOUZA, V. D. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex DC) Standl. **Revista Árvore**, 29(4), 507-516, 2005.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARENEIRO, J. G.; PENCHEL, R. M.; LAMÔNICA, K. R.; FERREIRA, D. A. Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, v.29, n.6, p.853-861, 2005

GODOY, L. J. G. D., SANTOS, T. D. S., VILLAS BOAS, R. L., & LEITE JÚNIOR, J. B. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 217-226, 2008.

GOMES, J.M.; COUTO, L.; LEITE, H.G.; XAVIER, A.X.; GARCIA, S. L.R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.113-127, 2003.

LEITE, H. M. F.; TAVELLA, L. B.; MOTA, H.S. O.; ALMEIDA, F. A.; BRAVIN, M. P.; DIAS, J. R. M. Cultivo consorciado de olerícolas em sistema agroecológico. **Revista Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Recife, v.54, n.1, p.14-21, jan-abr, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/rca.2011.033>. Acesso em: 02 de mai. 2018

MOURA, V. P. G. O germoplasma de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no Brasil. **Embrapa. Comunicado técnico**. Dezembro, 2004. 12 p.

NADAI, F. B.; MENEZES, J. B.C; CATÃO, H. C. R. M., ADVÍNCULA, T.; COSTA, C. A. Produção de mudas de tomateiro em função de diferentes formas de propagação e substratos. **Revista agro@ ambiente on-line**, v. 9, n. 3, p. 261-267, 2015. DOI:10.18227/1982-8470ragro.v9i3.2348.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. & NEVES, J. C. L. Nutrição do eucalipto, In: BARROS, N. F. & NOVAIS, R.F., (Eds.). **Relação solo- eucalipto**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1990. p. 25-98.

OLIVEIRA JÚNIOR, O. A. de. **Qualidade de mudas de Eucalyptus urophylla produzidas em diferentes substratos**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2009.

OLIVEIRA, L. L.; CARVALHO, S. P.; REZENDE, T.T.; DAYANE TERRA AMARAL DAIA, D. T. A.; DIAS, D. M.; WASHINGTON, J. L. F. Análise de trilha entre variáveis de mudas obtidas por enraizamento de segmentos caulinares. In: IX Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2015, Curitiba, **Anais [...]**. Curitiba: SPCB, 2015. 4 p.

SANTOS, P. L. F e CASTILHO, R. M. M. Relação entre teor de clorofila e nitrogênio foliar em grama esmeralda cultivadas em substratos. **Tecn. & Ciên. Agropec.**, João Pessoa, v.9, n.4, p.51-54, set 2015.

SOUZA, G. S.; SILVA, J. S.; OLIVEIRA, U. C.; LIMA, J. C.; SANTOS, A. R. Rendimento de biomassa de plantas de erva-cidreira (*Melissa officinalis* L.) cultivada sob diferentes ambientes de luz e doses de fósforo. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 2012.

WILCKEN, C. F; LIMA, A. C. V; DIAS, T. K. R; MASSON, M. V; FERREIRA FILHO, P. J; DAL POGETTO, M. H. F. A. **Guia Prático de Manejo de Plantações de Eucalipto**. Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais (FEPAF). Botucatu, p.25, 2008.

ESTUDO DA PRESSÃO EFETIVA EM COBERTURAS COM PLATIBANDA CONFORME A NBR 6123 – FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 05/07/2021

Gean Henrique Sabino Freitas

Mestrando em Ciência e Tecnologia Ambiental
pela Universidade Federal da Grande
Dourados
Universidade Federal da Grande Dourados
Dourados – MS
<http://lattes.cnpq.br/7115154052804168>

Luiz Henrique Moreira de Carvalho

Mestre em Engenharia Mecânica pela
Universidade de Taubaté
Centro Universitário da Grande Dourados
Dourados – MS
<http://lattes.cnpq.br/4250501020336540>

Nélison Ferreira Corrêa

Mestre em Ciências Ambientais pela
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Centro Universitário da Grande Dourados
Dourados – MS
<http://lattes.cnpq.br/5432377107139002>

Wilson Espindola Passos

Doutor em Ciência e Tecnologia Ambiental pela
Universidade Federal da Grande Dourados
Centro Universitário da Grande Dourados
Dourados – MS
<http://lattes.cnpq.br/0973880090358550>

RESUMO: Devido ao panorama da arquitetura atual, é recorrente a inserção de platibandas nas coberturas das edificações atuais. Contudo, por esta ser uma tendência relativamente recente,

a NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações, publicada em 1988, não trata da influência desses elementos construtivos na pressão efetiva desenvolvida sobre a cobertura. Dessa forma, busca-se uma contribuição ao cálculo das cargas do vento sobre as edificações por meio da análise de uma cobertura com platibanda em uma residência localizada na cidade de Dourados – MS, no bairro Santa Fé. Para isso, define-se uma equação para cada inclinação de telhado, 5°, 15° e 20°, propiciando uma análise comparativa da influência da variação da altura da platibanda na pressão efetiva sobre o telhado para diferentes inclinações. Assim, foi percebido que conforme é aumentada a altura da platibanda, menores são as pressões efetivas sobre o telhado. Contudo, é preciso atentar-se a elevação dos custos em coberturas mais inclinadas, o que afeta financeiramente a execução da obra, pois exige estruturas mais robustas, além de inviabilizar arquitetonicamente a utilização de platibandas.

PALAVRAS-CHAVE: Platibandas. Projeto de cobertura. Pressão efetiva.

STUDY OF EFFECTIVE PRESSURE IN ROOFS WITH PLATIBAND ACCORDING TO NBR 6123 – FORCES DUE TO WIND IN BUILDINGS

ABSTRACT: In reason of the panorama of the current architecture, it is recurrent the insertion of platibands in the coverings of the current buildings. However, because this is a relatively recent trend, NBR 6123 – Wind Forces in Buildings, published in 1988, does not address the influence of these constructive elements on the effective pressure

developed on the roof. Thus, a contribution is made to the calculation of the wind loads on the buildings by means of the analysis of a cover with the panel in a residence located in the city of Dourados – MS, in the Santa Fé neighborhood. For this, an equation is defined each roof slope, 5°, 15° and 20°, providing a comparative analysis of the influence of the variation of the height of the panel in the effective pressure on the roof for different slopes. Thus, it was noticed that as the height of the panel is increased, the lower the effective pressures on the roof. However, it is necessary to be attentive to the elevation of the costs in more inclined roofs, which affects financially the execution of the construction, because it requires more robust structures, besides making unworkable architecturally the use of platibands.

KEYWORDS: Platibands. Coverage project. Effective pressure.

1 | INTRODUÇÃO

A influência da ação do vento, principalmente em edificações esbeltas e leves (edifícios com a tecnologia *steelframe*, por exemplo), de grandes vãos livres, pode ser catastrófica. Contudo, conforme Makowski (2004), mesmo em residências de até dois pavimentos, e locais de risco é possível constatar com frequência perdas físicas ou humanas, pois a estrutura de cobertura possui a característica de geralmente ser leve e possuir vínculo com a superestrutura que não impede a magnitude de flexão imposta pela ação do vento.

A influência do vento nessas estruturas pode ser por sucção, esforços no sentido de baixo para cima, ou de pressão, de cima para baixo (BLESSMANN, 1991). A inclinação entre 8° e 12° é a mais recorrentemente utilizada nas construções, porém, esta corresponde ao valor em que resulta a máxima sucção média. No entanto, a influência do vento por esforço de pressão apresenta maior perigo em coberturas com mais de 45° de inclinação.

As ações do vento são classificadas como carregamentos de duração instantânea, formados pelo carregamento normal e pelo carregamento excepcional. O tipo normal refere-se ao carregamento previsto, sendo considerado de longa duração, verificado nos estados limites últimos e de utilização. O tipo excepcional corresponde ao efeito na construção não previsto durante sua concepção, devido a frequência reduzida de ocorrência. Análises precisas em relação a existência conjunta desses esforços, com a estipulação das condições específicas de existência e duração, podem ser obtidas por métodos computacionais ou por análise em túneis de vento (BLOCKEN, 2014).

Conforme expressa Pereira *et al.* (2017), é crescente a utilização de coberturas cada vez menos inclinadas, com o emprego de materiais leves, flexíveis e em grandes vãos livres. Isso implica na necessidade de análises mais rigorosas da ação do vento. Neste estudo, serão verificadas as inclinações do telhado de 5°, 15° e 20°, com ângulos de incidência do vento de , situação em que os ventos atingem maior velocidade na região e os menores valores de sucção para declividades da cobertura entre 30° e 60°. Ou seja, verifica-se que em declividades mais baixas os valores de sucção tendem a ser menos favoráveis a segurança da edificação.

Como o estudo de Manfrim (2006) demonstra, em determinadas regiões das paredes de um galpão verifica-se variações dos coeficientes de pressão apresentados pela NBR 6123 e os fornecidos pela análise fluido dinâmica computacional, mas em regiões de barlavento os coeficientes de pressão são mais próximos aos descritos pela norma (ABNT, 1988). Pode-se inferir que a norma preconiza valores menos exatos, porém seguros, devido à grande variação dimensional entre as construções.

Quando é analisada a pressão do vento sobre as paredes, considera-se o efeito preponderante sobre as estruturas metálicas e de madeira, conforme expressa Pravia e Chiarello (2003), onde essas considerações são realizadas inicialmente de modo acadêmico, pelo frequente tratamento das forças devidas ao vento somente nas disciplinas de engenharia civil referentes a essas estruturas. Porém, se tratando de platibandas, deve-se considerar o efeito desta em conjunto com a cobertura, pois a estrutura que suporta o telhado geralmente é leve e a existência da platibanda altera as pressões efetivas sobre a mesma, caso contrário, não se caracterizaria uma análise próxima da realidade.

Com finalidade de uma análise mais generalizada do efeito da pressão efetiva em coberturas com a presença de platibandas, foi empregada uma edificação residencial de um único pavimento, conduzindo os cálculos a partir do nível do solo a laje superior, onde a partir dessa altura foi considerada uma platibanda de altura variável para efeitos de cálculo. A NBR 6123 considera duas situações imprescindíveis da consideração dos efeitos dinâmicos da interação fluido-estrutura, em estruturas com frequências próprias fundamentais inferiores a 1 Hz e em edificações esbeltas e flexíveis, onde mostra-se necessário estudar a estabilidade da construção (DENG *et al.*, 2018; NUNES, 2008).

Com isso, infere-se que há necessidade de estudos que investiguem os efeitos dinâmicos do vento sobre estruturas de cobertura, estruturalmente mais frágeis a esses esforços, em conjunto com elementos arquitetônicos com ampla utilização em edificações correntes, como a platibanda, em que além da ornamentação também é empregada como elemento de proteção da fachada.

2 | OBJETIVOS

Realizar análises comparativas das magnitudes da pressão efetiva em função da variação da altura da platibanda, para as declividades de 5°, 15° e 20°, consideradas baixas, visto que as telhas são do tipo metálica. Para isso, será calculada a carga dinâmica do vento considerando os coeficientes de pressão externos a cobertura e as paredes, adotando um coeficiente de pressão interno a edificação. Com as funções obtidas, pretende-se realizar uma análise qualitativa do efeito dinâmico do vento para a cobertura de uma residência na região de Dourados – MS.

3 | MÉTODO OU PROGRAMA EXPERIMENTAL

Na análise comparativa será utilizada como referência uma edificação residencial de um pavimento localizada no município de Dourados, em Mato Grosso do Sul, no bairro Santa Fé. Conforme as isopletras de velocidade básica do vento apresentadas pela NBR 6123, a respectiva velocidade para a região é de 47 m/s. A inclinação do terreno é inferior a 3°, em ambiente residencial com altura média das edificações inferior a 10 m, onde 21,13m é maior dimensão da residência.

Como a edificação mencionada possui cobertura em diversas águas, para efeitos de análise e maior compatibilidade com os parâmetros oferecidos pela norma, de modo que simultaneamente propicie uma análise que majore os esforços existentes, foi adotada a disposição da cobertura da garagem dessa residência como parâmetro de análise, onde o fator de rugosidade do terreno, dimensão da edificação e altura sobre o terreno (S_2) foi determinado conforme as dimensões longitudinais e transversais totais da residência edificada.

O fator S_2 foi empregado em função da altura da edificação a partir do nível do terreno (z), contudo, foi adotada uma altura constante de 3,0 m entre o nível do terreno e a base da platibanda. Primeiramente foi determinada a pressão efetiva a altura de 3,0 m, considerando a existência de beiral, para isso o coeficiente de pressão interna igual a -0,2, em que apesar da construção com laje, deve-se prever a vedação incompleta em casos críticos da incidência do vento (ABNT, 1988; HAN *et al.*, 2015; LEE *et al.*, 2015). E o coeficiente de pressão externo adotado foi o que apresentou valor crítico (-2,0), isto é, o de maior magnitude na cobertura, o que ocorreu nas extremidades longitudinais e transversais da mesma, com faixa de largura de 0,729m. A partir desses dados foi obtida a pressão efetiva considerando a existência de beiral.

Para as análises posteriores, foi definido y como a altura da platibanda. E a partir dos mesmos dados anteriores foram determinadas funções da pressão efetiva em relação a h para a cobertura com declividades de 5°, 15° e 20°. Em relação as equações definidas em etapas anteriores, varia-se somente os valores dos coeficientes de pressão externa das coberturas conforme as respectivas declividades. Por fim, para obter a influência da platibanda na pressão do vento com efeito de sucção sobre a cobertura, para cada declividade avaliada foi realizada a soma da pressão do vento sobre a cobertura (negativa) com a pressão sobre a platibanda (positiva), considerado o coeficiente de pressão externa para paredes (platibanda) igual a +0,7.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Pressão Efetiva Constante

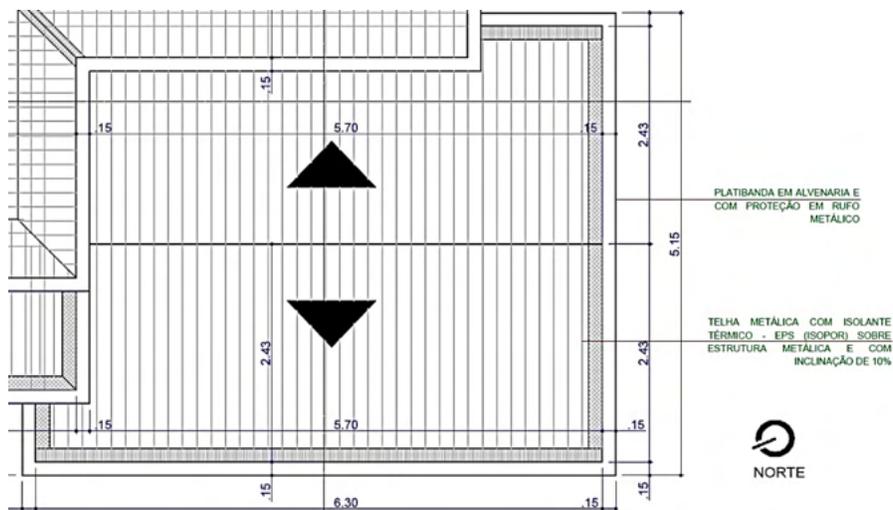
No desenvolvimento dos cálculos a seguir, será considerada a velocidade básica

do vento para a região de Dourados, essa velocidade corresponde a máxima velocidade média medida sobre ,3 s que pode ser excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 m de altura sobre o nível do terreno em lugar aberto e plano (ABNT, 1988). Como o município de Dourados é situado na região sul de Mato Grosso do Sul, foi considerada a velocidade de 47m/s, analisando o mapa de isopletas para determinação da velocidade básica do vento (v_0), disposto na NBR 6123 (ABNT, 1988).

A velocidade utilizada em projeto é a chamada velocidade característica (v_k), determinada a partir da velocidade básica, considerando o fator topográfico (S_1), o fator de rugosidade do terreno e dimensão da edificação (S_2) e o fator estatístico, devido a ocupação do local por objetos ou pessoas (S_3). O bairro em que a residência se localiza apresenta perfis de elevação com inclinação média de 1,5%, ou 0,86° (dados do Google Earth Pro), sendo abaixo de 3°, é considerado $S_1=1,00$. A altura média dos obstáculos no ambiente residencial, em geral não supera 10 m. Desse modo, a edificação se enquadra na categoria IV, quanto a rugosidade do terreno. A maior dimensão da edificação é de 21,13 m. Com isso, a edificação pertence a Classe B.

Na tabela de parâmetros meteorológicos são apresentados os parâmetros b e p para a determinação de S_2 , de acordo com as respectivas categorias e classes dispostas na NBR 6123 (ABNT, 1988). Onde z_g define o limite em que é aplicável a equação de S_2 . Com $F_r = 0,98$ (denominado de fator de rajada, sempre analisado na categoria II), $b = 0,85$ e $p = 0,125$, a uma altura $z=3,00m$ (para estudos próximos à altura da cobertura), tem-se $S_2=0,72$, $v_k = 33,84 m/s$ (fator estatístico para residências é dado por $S_3=1,00$). Assim, a pressão dinâmica é $q = 701,97 N/m^2$.

Apenas duas águas da residência localizada no bairro Santa Fé, de Dourados - MS, serão analisadas a seguir, dispostas a direita da fachada principal, onde consta a garagem.



PLANTA DE COBERTURA SEM ESCALA

Figura 1 – Parte do projeto arquitetônico da cobertura em telha metálica com queda em duas águas e platibanda.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

A direção dos ventos predominantes na cidade de Dourados/MS é a nordeste (DA SILVA; VIEIRA, 2016). Analisando a Figura acima, a respectiva direção é mais próxima da direção horizontal da planta, perpendicular a fachada direita representada. Essa condição de cálculo foi adotada com a finalidade de propiciar uma aplicação direta dos coeficientes de pressão fornecidos pela norma empregada neste estudo.

Conforme a direção dos ventos predominantes, foi optado por obter as pressões efetivas na cobertura da fachada direita, considerada a mais prejudicada pelos efeitos dinâmicos da interação fluido-estrutura, onde direção dos ventos predominantes na região de Dourados-MS é a nordeste ($\alpha=0^\circ$).

Como a espessura da parede que forma a platibanda é constante de 15 cm, a adoção dessas medidas não interferem no cálculo. Será analisada a pressão efetiva real, e a sua relação com a variação da altura da platibanda ou da declividade do telhado na extremidade lateral e inferior da garagem, porém, não serão consideradas as espessuras da platibanda, dado que a zona crítica do telhado é de 72,9 cm, superior a 15 cm.

Tem-se que $a \geq b$, assim com as ponderações mencionadas anteriormente, $a=6,30m$ e $b=4,86m$. A zona crítica do telhado foi determinada sabendo que deve ser adotado o menor valor entre h e $0,15 b$, em que $h=3,00m$. Os parâmetros necessários para a obtenção dos coeficientes de pressão externa nos telhados são a altura relativa h/b , sendo $h/b = 3/4,86=0,62$ (ABNT, 1988). Para fins de cálculo, foi adotado $\theta=5^\circ$.

A partir desses parâmetros relacionados as dimensões da edificação e da disposição da cobertura, obtém-se os coeficientes de pressão externos indicados na Figura 2.

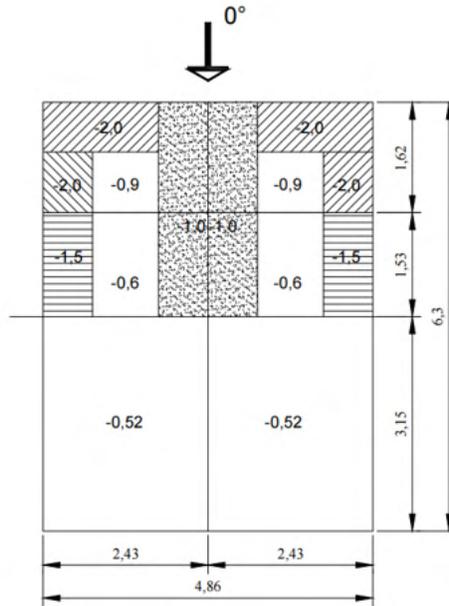


Figura 2 – Distribuição dos coeficientes de pressão externos em telhados de duas águas, em função das dimensões do telhado, da sua inclinação e do ângulo de incidência do vento.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Calculando somente a região crítica e considerando a distribuição uniforme dos coeficientes nesse local, a pressão efetiva Δp_e é obtida pelo produto entre a diferença do coeficiente de pressão externo $c_e = -2,0$ (local crítico com largura $y = 0,729\text{ m}$) e o interno $c_i = -0,2$ na região correspondente e a pressão dinâmica $q = 701,97\text{ N/m}^2$. Onde o coeficiente de pressão interno igual a $-0,2$ deve-se a consideração do pior caso no qual a cobertura não possua aberturas em suas imediações, apesar de o local ser isolado por meio de laje, emprega-se o valor mencionado considerando que o isolamento não seja perfeito, com índice de permeabilidade menor que 30% (ABNT, 1988; GONÇALVES *et al.*, 2007). Assim:

$$\Delta p_e = (c_e - c_i)q = (-2,0 + 0,2)(701,97) = -1263,55\text{ N/m}^2 \quad (1)$$

Observe que até o presente instante do estudo foram desconsiderados o efeito da platibanda. A altura de $3,0\text{ m}$ utilizada refere-se ao pé direito, portanto a ação da pressão efetiva ocorre a essa altura, e esta considera todos os efeitos particulares a edificação, como a sua forma, a disposição de seus elementos internamente e externamente e as suas dimensões (SEIFERT *et al.*, 2006).

4.2 Pressão Dinâmica Variável

A fator de rugosidade do terreno pode ser descrito em função da altura em relação ao nível do terreno, conforme a seguir:

$$S_2 = bF_r \left(\frac{z}{10}\right)^p = (0,85)(0,98) \left(\frac{z}{10}\right)^{0,125} = 0,833 \left(\frac{z}{10}\right)^{0,125} \quad (2)$$

Os parâmetros b e p serão os mesmos expostos na seção anterior. Então, a categoria IV e a classe B da edificação, implica nos parâmetros $b=0,85$ e $p=0,125$. O fator de rajada F_r é constante na categoria II, de valor $F_r = 0,98$.

Como a altura z refere-se ao nível do solo, e pretende-se estudar o efeito da altura da platibanda, juntamente com a inclinação da cobertura, na variação da pressão dinâmica, o cálculo pode ser desenvolvido de maneira mais prática se inserida a altura de $3,00m$ do nível do solo ao nível inferior da platibanda. Para isso, faz-se $z=3,00 + y$, onde y é altura da platibanda a partir de seu nível inferior, com isso:

$$S_2(y) = 0,833 \left(\frac{3,00 + y}{10}\right)^{0,125} = 0,625(3,00 + y)^{0,125} \quad (3)$$

O fator de rugosidade em função de y é incorporado a velocidade característica, mantendo os dados topográficos, estatísticos e de velocidade básica do vento expostos anteriormente, isto é, $S_1=1,00$, $S_3=1,00$ e $v_0=47m/s$, dessa forma:

$$v_k(y) = (47)(1,00)[0,625(3,00 + y)^{0,125}](1,00) = 29,375(3,00 + y)^{0,125} \quad (4)$$

Conhecendo a velocidade característica, a pressão dinâmica é obtida mediante:

$$q(y) = 0,613(v_k(y))^2 = 528,95 (3,00 + y)^{0,25} \quad (5)$$

Repare que de acordo com a enunciação desenvolvida acima, a pressão dinâmica está em função da altura da platibanda, onde são considerados os efeitos da velocidade do vento, topografia, rugosidade, dimensões da edificação e da ocorrência segundo parâmetros estatísticos.

4.3 Pressão Efetiva Variável

Se os coeficientes adotados forem $c_e = 2,0$ e $c_i = 0,2$, a equação para a pressão efetiva corresponderá a inclinação de aproximadamente igual 5° . Desenvolvendo o estudo para o caso sem obstrução, considera-se a inexistência de platibandas, e a altura y indica somente a altura a partir de $3,00m$.

Em 10° , tem-se os coeficientes $c_e = 2,0$ e $c_i = 0,2$ (equivalentes a inclinação de 5° apresentada na Figura 2), assim:

$$\Delta p_{e1}(y) = (-2,0 + 0,2)[528,95 (3,00 + y)^{0,25}] = -952,11(3 + h)^{0,25} \quad (6)$$

A 15° de inclinação, a cobertura apresenta $c_e = 1,8$ e $c_i = 0,2$ na região analisada,

resultando:

$$\Delta p_{e2}(y) = (-1,8 + 0,2)[528,95 (3,00 + y)^{0,25}] = -846,32(3 + h)^{0,25} \quad (7)$$

E a 20°, os coeficientes são $c_e = -1,5$ e $c_i = 0,2$, fornecendo:

$$\Delta p_{e3}(y) = (-1,5 + 0,2)[528,95 (3,00 + y)^{0,25}] = -687,64(3 + h)^{0,25} \quad (8)$$

Ao considerar o efeito da platibanda na magnitude das pressões efetivas pode-se recorrer a Tabela 4 da NBR 6123 (ABNT, 1988), onde são apresentados os coeficientes de pressão externa para paredes, onde no presente estudo são aplicadas à platibandas. Os respectivos coeficientes adotados se referem a face direita da garagem em planta baixa na Figura 1.

Não foi adotado o coeficiente e pressão externa médio, pois somente aplica-se a paredes paralelas a direção de incidência do vento, e nesse estudo avalia-se a direção do vento correspondente a 0°. Desse modo, para a fachada em estudo aplica-se +0,7. Dispondo da carga dinâmica do vento $q(y) = 528,95(3,00+h)^{0,25}$, determina-se a pressão efetiva devido a platibanda:

$$\Delta P = (0,7)528,95 (3 + h)^{0,25} = 370,265 (3 + h)^{0,25} \quad (9)$$

Onde h denota a altura da platibanda.

A pressão efetiva na platibanda é positiva, isto é, age no sentido de compressão a partir do lado externo (sinal positivo), contrário às forças de sucção no telhado.

Assim, para o cálculo da pressão efetiva em diferentes inclinações de telhado, basta somar $370,265(3+h)^{0,25}$ com a função correspondente a sucção na cobertura para a declividade requerida.

Então:

$$\Delta P = 370,265 (3,00 + h)^{0,25} - 952,11 (3 + h)^{0,25} = -581,85 (3,00 + h)^{0,25} \quad (10)$$

$$\Delta P = 370,265 (3,00 + h)^{0,25} - 952,11 (3 + h)^{0,25} = -581,85 (3,00 + h)^{0,25} \quad (11)$$

$$\Delta P = 370,265 (3,00 + h)^{0,25} - 846,32 (3 + h)^{0,25} = -476,06 (3,00 + h)^{0,25} \quad (12)$$

$$\Delta P = 370,265 (3,00 + h)^{0,25} - 687,64(3 + h)^{0,25} = -317,37 (3,00 + h)^{0,25} \quad (13)$$

Onde as equações 10, 11, 12 e 13 acima referem-se as inclinações de telhado de 5°, 10°, 15° e 20°, respectivamente.

Como as declividades de 5° e 10° possuem as mesmas curvas de pressão específica e pretende-se avaliar as principais distinções entre as curvas para diferentes declividades em relação a adota em projeto, adota-se somente as declividades de 5°, 15° e 20°.

As equações 10, 12 e 13 são representadas graficamente na Figura 3, o que permite analisar a variação da pressão efetiva conforme a variação da altura da platibanda e simultaneamente comparar essas características entre coberturas de declividades distintas.

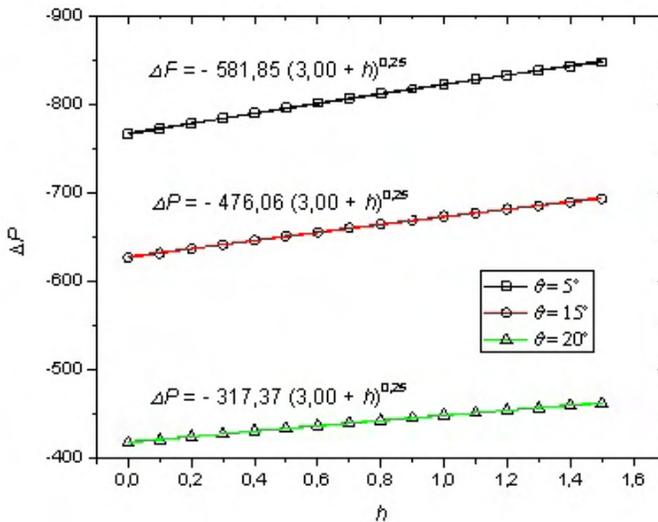


Figura 3 – Gráfico da variação da pressão efetiva conforme a variação da altura da platibanda, em diferentes declividades de cobertura.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

É usual a adoção de 10% de declividade para telhas metálicas, devendo-se evitar inclinações inferiores a 5%. Por isso, pode-se comparar a variação da pressão efetiva no telhado da edificação em análise tanto para o valor $\theta = 5^\circ$ (10%), adotado na edificação analisada, como para valores superiores, como $\theta = 15^\circ$ e $\theta = 20^\circ$, permitindo fazer inferências a partir da pressão efetiva para diferentes alturas de platibanda em diferentes declividades do telhado.

Na Figura 3, o aumento da altura da platibanda implica no aumento da pressão efetiva negativa no telhado, ou seja, da sucção sobre o mesmo. Essa característica pode ser prevista, pois sabe-se que a pressão do vento sobre uma parede a barlavento implica na sucção a sota-vento (MOONEGHI *et al.*, 2014). Essa mesma tendência é verificada ao diminuir a inclinação do telhado, quanto mais plana a superfície de incidência do vento, maior é a força de sucção (HU *et al.*, 2017).

Na edificação mencionada, a telha galvalume empregada de inclinação de 10% ou 5°, demonstra baixa viabilidade quando a pressão do vento é analisada, pois a magnitude da sucção torna-se maior devido à baixa declividade em que estas geralmente são instaladas. Na inclinação de 20°, são apresentados os menores valores de sucção. Contudo, a inclinação de 5° é usualmente empregada em telhas galvalume.

Apesar dos resultados apresentados, um telhado com alta declividade pode tornar-se inviável tanto pela declividade recomendada pelo fabricante, idealizada para o fluxo de águas pluviais sem uma velocidade excessiva, como pela perda da capacidade de uma platibanda ocultar a cobertura, pois as estruturas de fixação tornam-se mais altas, com

perfis mais robustos, e as ligações necessitam ser mais resistentes a esforços de tração e compressão. Logo, com o intuito de proporcionar maior rigidez a estrutura de suporte do telhado, o custo total da edificação pode tornar-se mais elevado.

Neste caso, como pode ser inferido pelo estudo de Vanderlei *et al.* (2019), também é preciso atentar-se a existência e posição das aberturas, assim como suas dimensões, além do conforto lumínico e térmico proporcionado, onde este último fator, quando analisado sistematicamente, alcança os melhores resultados quanto a conservação de energia em coberturas brancas, um quesito preponderante tratando-se de custo-benefício, mas ainda pouco efetivamente considerado em projetos de coberturas de residências de padrão baixo (DURANTE *et al.*, 2019).

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo da força do vento em edificações é fundamental em localidades onde as velocidades do vento são elevadas. Esse estudo geralmente é realizado somente em edificações esbeltas e altas. Nesses casos, haverá economia no custo final da obra, sendo obtidas estruturas menos robustas, dada a compreensão da interação entre o vento e a cobertura com platibanda.

Foi verificado que no telhado haverá sucção, crescente conforme a diminuição da declividade do telhado ou o aumento da altura da platibanda. Para viabilizar sua construção, sem comprometer o projeto executivo ou arquitetônico, é necessário analisar os casos em que os efeitos do vento devem ser considerados, ou podem ser desprezados, adaptando o projeto as condições específicas da localidade da obra e aos recursos disponíveis.

Deve-se salientar que esta pesquisa foi conduzida considerando os parâmetros, as metodologias e as observações próprias da NBR 6123 – Forças Devidas aos Ventos em Edificações de 1988, dado que sua realização do estudo foi anterior a versão corrigida 2 da referida norma e confirmada 01 de novembro de 2019. Contudo, pode-se verificar a contribuição ao desenvolvimento de projetos de coberturas, avaliando os efeitos produzidos pelo vento integralmente aos esforços induzidos na estrutura em conjunto com a variação dos parâmetros de inclinação da cobertura e altura da platibanda. Assim, pode ser percebida a especificidade do tema abordado, o que torna o estudo relevante para discussão mesmo em atualizações posteriores da NBR 6123.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Forças devidas ao vento em edificações**, NBR 6123, ABNT, Rio de Janeiro, 84 p., 1988.

BLESSMANN, J. **Ação do vento em telhados**. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1991.

- BLOCKEN, B. 50 years of Computational Wind Engineering: Past, present and future. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 129, p. 69-102, June 2014.
- DA SILVA, R. L.; VIEIRA, M. M. Direção predominante, velocidade do vento e suas frequências de ocorrência em Dourados-MS. **Energ. Aric.**, Botucatu, v. 31, n. 4, p. 348-355, out.-nov., 2016.
- DENG, T.; FU, J. Y.; XIE, Z. N.; PI, Y. L.; SHI, B. Q. An experimental study on the wind pressure distribution of tapered super high-rise buildings. **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, v. 27, n. 13, p. 1-11, June 2018.
- DURANTE, L. C.; JAUDY, L. F. R.; CALLEJAS, I. J. A.; ROSSETI, K. A. C. Conservação de energia em habitação de interesse social: um estudo aplicado ao sistema de cobertura. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 10, p. 21226-21243, Oct. 2019.
- GONÇALVES, R. M.; DE SALES, J. J.; MALITE, M.; MUNAIAR NETO, J. **Ação do vento nas edificações: Teoria e exemplos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 2007. 138 p.
- HAN, G.; SREBRIC, J.; ENACHE-POMMER, E. Different modeling strategies of infiltration rates for an office building to improve accuracy of building energy simulations. **Energy and Buildings**, v. 86, p. 288-295, Jan. 2015.
- HU, G.; TSE, K.T.; SONG, J.; LIANG, S. Performance of wind-excited linked building systems considering the link-induced structural coupling. **Engineering Structures**, v. 138, p. 91-104, May 2017.
- LEE, DONG-SEOK; KIM, SEUNG-JIN; CHO, YOUNG-HUM; JO, JAE-HUN. Experimental study for wind pressure loss rate through exterior venetian blind in cross ventilation. **Energy and Buildings**, v. 107, p. 123-130, Nov. 2015.
- MAKOWSKI, D. G. **Ação do vento em coberturas isoladas**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.
- MANFRIM, S. T. **Estudo numérico para a determinação das pressões devidas à ação do vento em edifícios industriais**. 2006. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira.
- MOONEGHI, M. A.; IRWIN, P.; CHOWDHURY, A. G. Large-scale testing on Wind uplift of roof pavers. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 128, p. 22-36, May 2014.
- NUNES, P. E. V. **Estudo numérico para a determinação das pressões devidas à ação do vento em edifícios industriais**. 2008. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa.
- PEREIRA, L. A.; AMORIM, M. A. S.; ALMEIDA, T. C.; BENATI, T. I.; DA CRUZ, R. B. C. Análise da Influência dos Esforços de vento em Coberturas em Função da Variação da Inclinação. **Engenharia Estudo e Pesquisa**, v. 17, n. 2, p. 51-59, Jul./dez. 2017.

PRAVIA, Z. M. C.; CHIARELLO, J. A. O programa VisualVentos: Determinação de forças devidas ao vento em edificações de base retangular e cobertura a duas águas segundo a NBR 6123 devidas ao vento em edificações de base retangular e cobertura a duas águas segundo a NBR 6123/. In: XXXI Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2003. 9 p.

SEIFERT, J.; LI, Y.; AXLEY, J.; RÖSLER, M. Calculation of wind-driven cross ventilation in buildings with large openings. **Journal of Wind Engineering**, v. 94, n.12, p. 925-947, dec. 2006.

VANDERLEI, P. S.; DA SILVA, L. C.; GONÇALVES, R. B. Desempenho geométrico de um brise soleil: um estudo sobre seu impacto na iluminação e ventilação natural em uma sala de aula. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 16414-16425, sep. 2019.

METODOLOGIA PARA ENSINO DA CONCORRÊNCIA ENTRE PROCESSOS COM EMPREGO DE SEMÁFOROS EM SISTEMAS OPERACIONAIS PREEMPTIVOS

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 21/06/2021

Marco Aurélio de Souza Birchal

UFMG - Universidade federal de Minas Gerais
– Depto. de Engenharia Eletrônica
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/6340987109733541>

Viviane Santos Birchal

UFMG - Universidade federal de Minas Gerais
– Depto. de Engenharia Química
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/0342014878408861>

RESUMO: Este artigo apresenta um método de exploração do ensino da concorrência entre processos que sumariza os principais inter-relacionamentos entre processos, notadamente em sistemas preemptivos na presença de regiões críticas. O método aqui exposto propõe a confecção de uma tabela de estado dos processos envolvidos, criando um passo a passo entre as ocorrências, o que dá ao estudante uma visão sistemática e metódica de um procedimento complexo, muitas vezes obscuro a um primeiro contato. Um simulador de escalonamento que aplica o método proposto foi desenvolvido e é apresentado.

PALAVRAS-CHAVE: Semáforos. Escalonamento. Preempção. Regiões Críticas.

METHODOLOGY FOR LEARNING PROCESS CONCURRENCY APPLYING SEMAPHORE IN PREEMPTIVE OPERATING SYSTEMS

ABSTRACT: This article presents a method of exploring the teaching of processes concurrency that summarizes the main interrelationships among processes, in preemptive systems with critical regions. The method exposed here proposes the creation of a state table of the processes involved, creating a step-by-step state between occurrences, which gives the student a systematic and methodical view of a complex procedure, often obscure to a first contact. A scheduling simulator that applies the proposed method was developed and is presented.

KEYWORDS: Semaphores. Scheduling. Preemption. Critical Region.

1 | INTRODUÇÃO

A formulação aqui proposta tem como objetivo fornecer uma técnica de ensino que aplique, a um só tempo, os conhecimentos de concorrência e preempção, semáforos e algoritmos de escalonamento, de forma a que se possam consolidá-los, criando uma visão coesa de vários temas, que embora relacionados, poderiam parecer disjuntos.

Os semáforos pertencem ao conjunto dos mecanismos de IPC (Inter Process Communication) clássicos, normalmente estudados na disciplina Sistemas Operacionais dos cursos de Ciência da Computação ou

em disciplinas equivalentes em algumas engenharias, como é o caso da Engenharia de Controle e Automação.

Originalmente descritos por Dijkstra (DIJKSTRA, 1965), os semáforos são variáveis inteiras, sempre maiores ou iguais a zero e controladas pelas funções WAIT (ou DOWN ou ainda, como primeiramente proposto, pela letra P, de *proeberen*, incremento em holandês) e SIGNAL (ou UP ou V, de *verhogen*, em holandês). Estas funções devem ser implementadas no *kernel* do sistema operacional ou no núcleo do compilador de uma linguagem e são tratadas como chamadas ao sistema. Isso permite que elas possam ser executadas de forma atômica, isto é, uma vez iniciadas, não poderão ser interrompidas antes de sua conclusão, por nenhum tipo de interrupção ou por *time out*.

Os semáforos são essencialmente um mecanismo de sincronização entre processos concorrentes e podem ser utilizados para controlar a entrada e a saída de processos de regiões críticas de código, de forma a se evitarem condições de erro por acesso simultâneo ou inconsistente a recursos compartilhados, conhecidas como condições de corrida (TANENBAUM e BOS, 2016).

2 I CONSIDERAÇÕES SOBRE O APRENDIZADO

A dificuldade no entendimento dos semáforos vem da idéia não natural de que os valores dos mesmos não são alterados pelo programa que os utiliza e sim, por funções externas a ele (*Wait* e *Signal*) que devem ser avaliadas em separado.

Dificuldade ainda maior aparece no momento em que estas funções não atuam somente nos valores dos semáforos, mas também no próprio estado do processo chamador. A análise global do funcionamento de semáforos leva, então, ao estudo do ciclo de escalonamento de processos, controlado pelo gerenciador de processos ou escalonador.

2.1 Ciclo dos processos

Um sistema operacional multitarefa implementa a concorrência através de um sistema de tempo compartilhado (*time-sharing*) em que os processos se alternam no uso do processador. Embora haja vários esquemas de escalonamentos *time-sharing*, o *Round-Robin* sem prioridade é o mais simples (STALLINGS, 2017).

Este esquema define um mínimo de três estados possíveis a um processo, instanciado em memória. O estado Ativo é aquele em que se encontra o processo atualmente em execução. Tendo-se um computador mono processado (com somente um processador), tem-se, pois, somente um processo em estado Ativo por vez. O processo permanecerá neste estado por um tempo máximo, denominado quantum (e tipicamente da ordem de 100 ms) que é controlado pelo escalonador de processos ou até que ocorra uma interrupção por evento.

O estado Pronto é aquele em que o processo tem todos os requisitos necessários

à sua execução, mas se encontra em uma fila, aguardando por sua vez de se tornar ativo. Podem haver vários processos em estado Pronto, que serão enfileirados por alguma política de escalonamento, definida pelo escalonador. A mais simples seria uma fila sem prioridades em que o processo que chegou primeiro será primeiramente escalonado.

Existe um terceiro estado, o estado de Espera. Ocorre toda vez que o processo não tem condição para ser executado, por lhe faltar algum tipo de recurso. O processo é levado ao estado de espera sempre que necessita de algum recurso (de software ou de hardware) que no momento não está disponível, provavelmente por estar sendo utilizado por um outro processo concorrente. Tais recursos podem ser físicos (como modem, placa de rede, discos, etc) ou lógicos, como uma variável compartilhada controlada por semáforos.

O ciclo de estados dos processos pode ser representado por um diagrama de estados (SILBERCHATZ, GAGNE e GALVIN, 2015), como o da Figura 1.

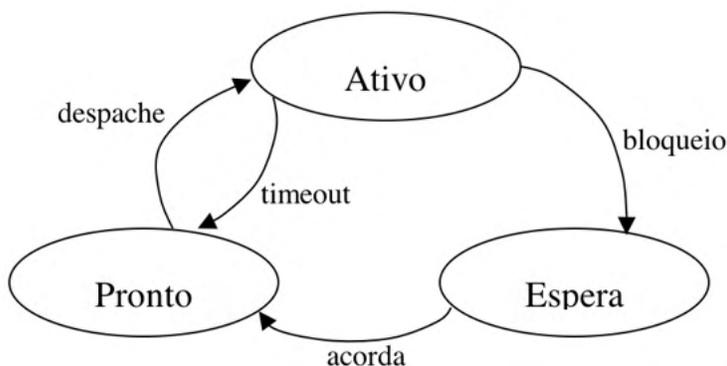


Figura 1 - Ciclo de três estados (SILBERCHATZ, GAGNE e GALVIN, 2015).

2.2 Código dos processos

Para que se possa estudar o comportamento de processos concorrentes pode-se supor um código comum a várias instâncias de processos, de forma a que todos compartilhem a mesma região crítica, controlada pelo mesmo conjunto de semáforos. Esta situação é ilustrada pela Figura 2.a. Pode-se ainda supor que haja uma outra espécie de processos concorrentes que, embora possuam regiões críticas, estas não são compartilhadas com quaisquer outros processos, como ilustrado na Figura 2.b. Poder-se-ia ainda pensar num terceiro tipo de processos que não possuam regiões críticas, sendo assim, estes processos poderiam rodar sempre que estivesse na vez deles serem submetidos ao processador. Este é o tipo listado na Figura 2.c.

É importante observar que tanto os processos do tipo b quanto c, embora concorrentes, não compartilhariam qualquer tipo de recurso com os demais processos. Os primeiros, de forma menos evidente, já que possuem semáforos em seus códigos mas,

ainda assim, que não são utilizados por nenhum outro processo instanciado. Os últimos, de forma explícita, pois não possuem qualquer mecanismo de IPC em seus códigos.

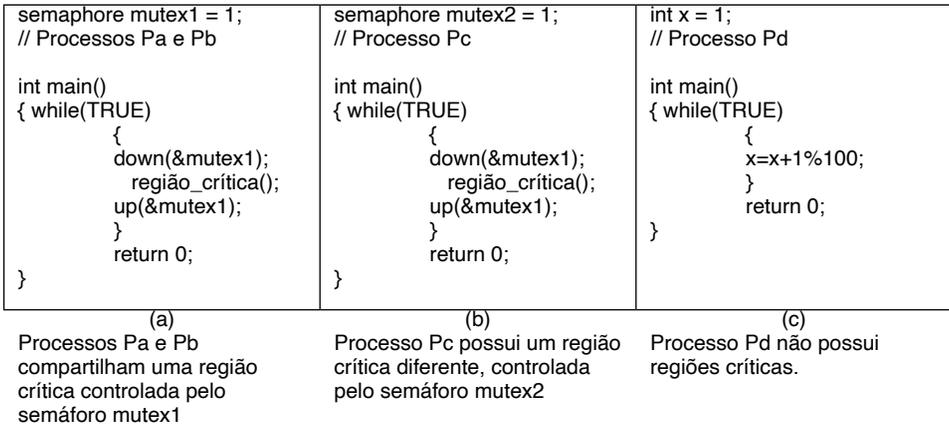


Figura 2 - possibilidades na codificação dos processos concorrentes.

3.1 CONSTRUÇÃO DO PROBLEMA

O problema pode ser apresentado de várias formas diferentes e consiste na solução da tabela de estados para os processos apresentados. Há que se fornecer o estado inicial de cada um dos processos e seus respectivos códigos (segundo exemplos da listagem 1). Fornecem-se ainda os valores iniciais dos semáforos e a sua ordem de entrada na fila de Prontos dos processos, bem como qual será o processo inicialmente Ativo, conforme ilustrado no exemplo da Figura 3.

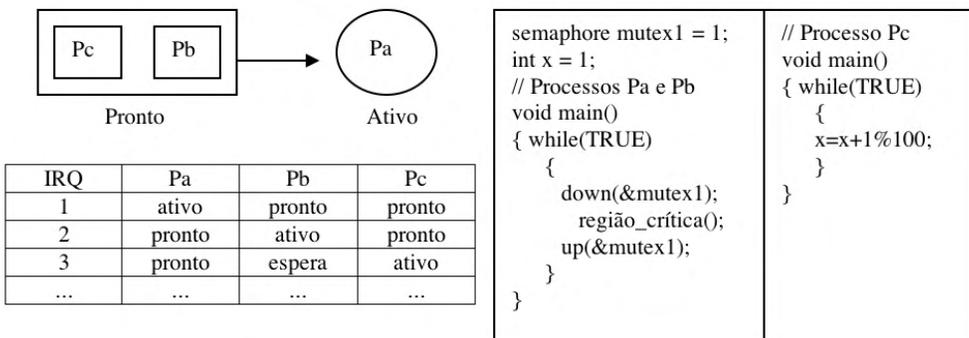


Figura 3 - Exemplo com três processos concorrentes.

Há também que se fornecer a relação de tempo entre a duração de uma região

crítica e o tamanho de um quantum, em termos de quantos quantums será necessário para que um processo execute um região crítica por completo.

3.1 Solução do problema

Para que se solucione o problema, devem-se observar as relações de dependência entre os processos, isto é, quais deles compartilham das mesmas regiões críticas (aquelas que são controladas pelos mesmos semáforos) e quais não.

Tendo-se esta compreensão e a ordem de entrada dos processos no processador, pode-se estimar qual será o primeiro processo a baixar o semáforo e levá-lo a zero. Neste ponto, é interessante rever os algoritmos das funções UP e DOWN, para que se possa optar pela mudança correta de estados entre os processos (BEN-ARI, 1990). A Figura 4 ilustra tais algoritmos.

DOWN (S): if $S > 0$ then $S = S - 1$ else "coloque o processo chamador em espera na fila do semáforo S"	UP (S): if "Existe algum processo na fila do semáforo S" then "Coloque o primeiro deles no estado Pronto" else $S = S + 1$
(a)	(b)

Figura 4 - Algoritmos das funções Up e DOWN (adaptado) (BEN-ARI, 1990).

Para o exemplo da Figura 3 e com cada região crítica durando três quantums, obtém-se uma tabela como a tabela 1. Nesta tabela, foram acrescentadas duas novas colunas. A quinta coluna ilustra passo a passo, a fila de processos prontos e o que ocorreu em cada interrupção, além de qual processo foi eventualmente à Espera. Desta forma, qualquer dúvida sobre qual deveria ser o próximo processo a estar ativo desaparece. A sexta coluna apresenta qual foi o tipo de interrupção que ocorreu. A interrupção por timeout significa que o processo rodou por todo um quantum e só saiu por preempção. A interrupção por evento significa que o processo executou um DOWN em um semáforo que estava em zero e, por isto, foi levado à Espera. Este tipo de interrupção significa que o processo não executou todo o quantum que ele possuía, pois foi impedido de entrar em sua região crítica por um outro processo.

A principal dificuldade no processo de montagem da tabela é o entendimento de que é o processo ativo que executa um UP, retira o processo que estava em espera do bloqueio e o leva ao estado de pronto. Quando isto ocorre, este processo que estava em espera passa a pronto e só então, o quantum do processo ativo termina, levando-o também a pronto. Isto é relevante, pois a ordem em que os processos entram na fila de pronto é que define qual deles irá primeiro à condição de ativo. Esta dinâmica está ilustrada na tabela 1.

IRQ	Pa	Pb	Pc	Estado	Tipo de IRQ
1	ativo	pronto	pronto	$Pc - Pb - (Pa) 1^\circ Qa$ (1º quantum de Pa)	timeout
2	pronto	ativo	pronto	$Pa - Pc - (Pb) \searrow Pb$ vai á Espera	evento
3	pronto	espera	ativo	$Pa - (Pc) 1^\circ Qc$	timeout
4	ativo	espera	pronto	$Pc - (Pa) 2^\circ Qa$	timeout
5	pronto	espera	ativo	$Pa - (Pc) 2^\circ Qc$	timeout
6	ativo	espera	pronto	$Pc - (Pa) 3^\circ Qa$	timeout
7	pronto	pronto	ativo	$Pa - Pb - (Pc) 4^\circ Qc$	timeout
8	pronto	ativo	pronto	$Pc - Pa - (Pb) 1^\circ Qb$	timeout
9	ativo	pronto	pronto	$Pb - Pc - (Pa) \searrow Pa$ vai á Espera	evento
10	espera	pronto	ativo	$Pb - (Pc) 5^\circ Qc$	timeout
11	espera	ativo	pronto	$Pc - (Pb) 2^\circ Qb$	timeout
12	espera	pronto	ativo	$Pb - (Pc) 6^\circ Qc$	timeout
13	espera	ativo	pronto	$Pc - (Pb) 3^\circ Qb$	timeout
14	pronto	pronto	ativo	$Pb - Pa - (Pc) 7^\circ Qc$	timeout
15	ativo	pronto	pronto	$Pc - Pb - (Pa) 4^\circ Qa$	timeout
16	pronto	ativo	pronto	$Pa - Pc - (Pb) \searrow Pb$ vai á Espera	evento
17	pronto	espera	ativo	$Pa - (Pc) 8^\circ Qc$	timeout
...	Loop Estabelecido !	...

Tabela 1 - Tabela solução para o exemplo da figura 3.

Como o processo que estava em espera entrou primeiro na fila, será ele que ficará ativo primeiramente. Logo, como ele já havia executado sua função DOWN (que o levou ao estado espera), desta vez ele irá executar sua região crítica e, quando o processo que o havia tirado de espera for executar novamente (assim que o quantum do processo anterior tiver acabado) ele irá executar um novo DOWN que o colocará em espera.

4 | O SIMULADOR

A importância deste simulador está no fato de se demonstrar de forma lógica e inequívoca, a solução de uma gama de variações da proposição do problema, dando consistência e validando esta técnica de ensino de concorrência. Igualmente importante é fornecer para o aluno um mecanismo interativo de aprendizagem, capaz de validar a compreensão e formalizar o raciocínio de maneira sólida (ZALUSKI e DANTAS, 2017).

As condições iniciais do problema, tais como a quantidade de processos concorrentes e quais deles possuem regiões críticas semelhantes, isto é, quais deles compartilham dos mesmos semáforos, são utilizadas para se gerar uma infinidade de problemas diferentes, em que o aluno deverá lançar mão dos conhecimentos de preempção, sincronização de semáforos, controle das filas de Pronto e Espera e dos algoritmos das funções UP e DOWN para chegar à correta montagem da tabela.

Uma vez que o problema pode ser solucionado com a aplicação de algoritmos, partiu-se para o desenvolvimento de um programa simulador que pudesse, dadas várias condições iniciais diferentes, produzir uma tabela de saída tal qual a Tabela 1.

Este simulador permite que se configurem a quantidade de processos e seus inter-

relacionamentos, podendo-se definir processos concorrentes que possuam ou não regiões críticas.

Podem-se simular até quatro processos concorrentes, escolhendo-se para cada um deles, um entre quatro semáforos, representados pelas respectivas regiões críticas.

Quando se deseja criar uma relação de dependência entre dois ou mais processos, deve-se configurar uma mesma região crítica para os processos em questão. Desta forma, o simulador permite associarem-se vários processos a uma mesma região crítica, de forma flexível, o que produz uma série de variações possíveis.

O número de quantums por região crítica é ajustável, de forma que se possam simular diferentes relações entre tempos de espera e de estado ativo, fazendo com que a quantidade de variações possíveis seja estendida.

Pode-se ainda desativar qualquer um dos processos ou associar qualquer um deles um semáforo não compartilhado, o que reproduz a situação semelhante aquela de um processo sem região crítica.

A Figura 5 mostra a simulação do exemplo anteriormente proposto, em que os processos Pa e Pb compartilham uma mesma região crítica e o processo Pc não depende de nenhum outro.

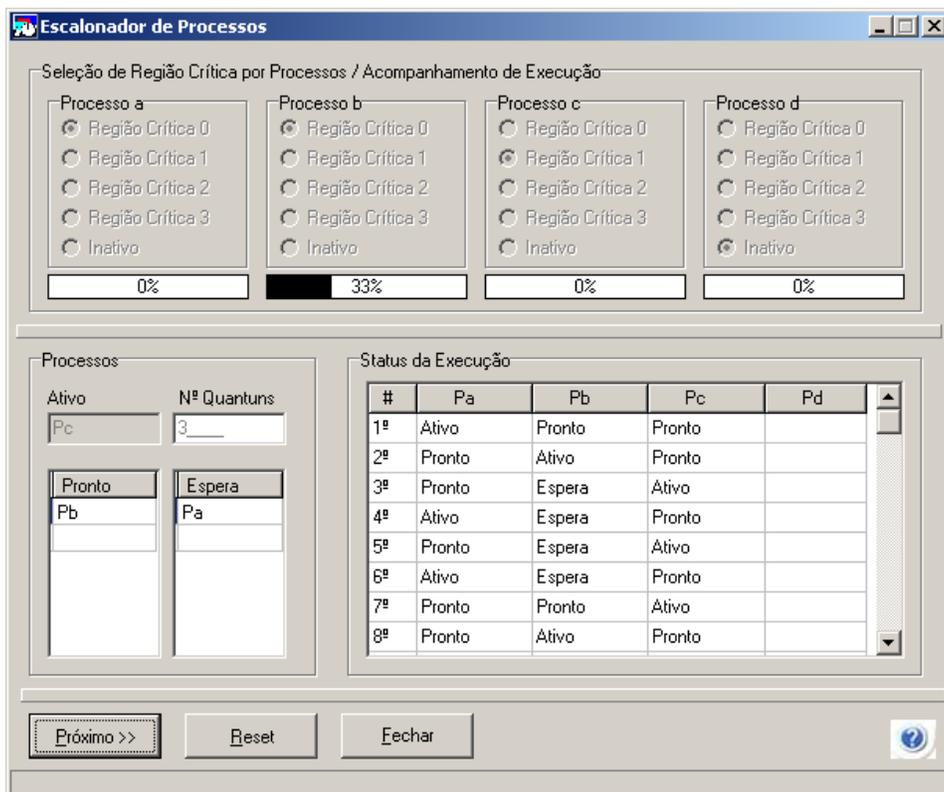


Figura 5. Simulação do caso exemplo.

O simulador executa as interrupções passo a passo, de forma a que se possa acompanhar o estado das filas de pronto e espera, que indicam qual será o próximo processo a ser executado e quais estão bloqueados, respectivamente. A Figura 6 ilustra o fluxograma deste escalonador.

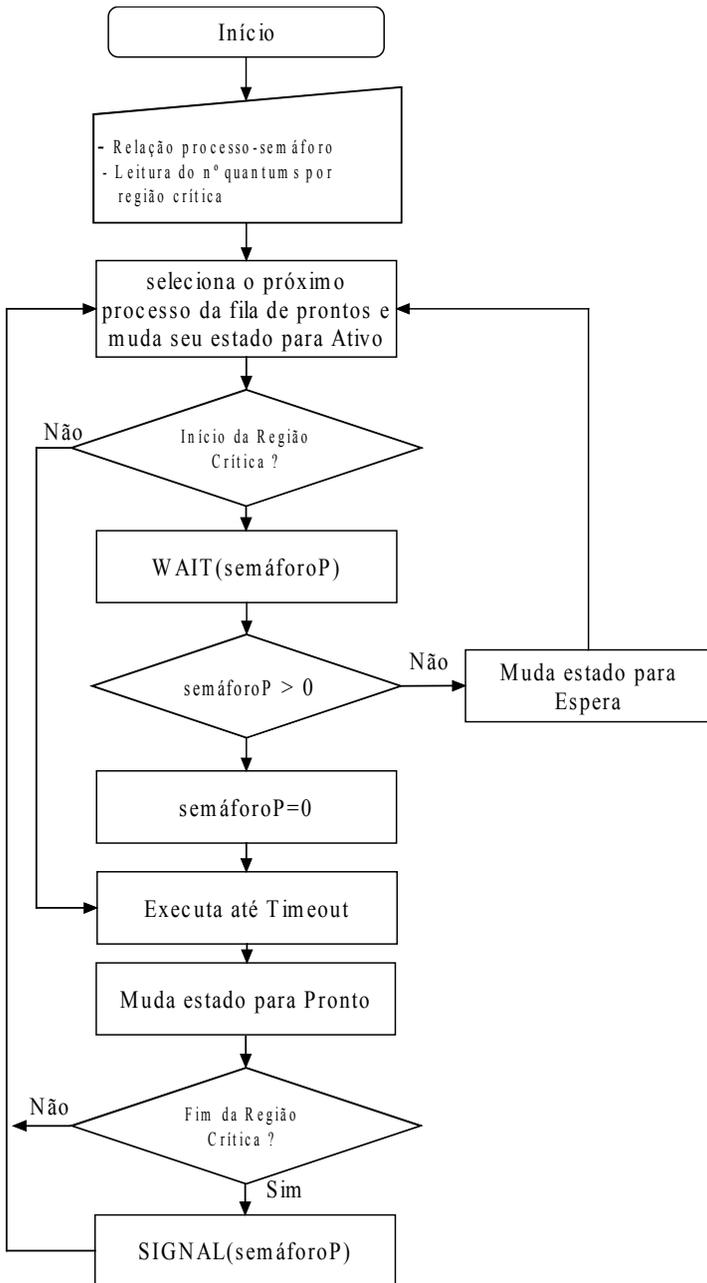


Figura 6 - Fluxograma do Escalonador simulado.

Para esta situação, o processo Pd do simulador foi desativado. O simulador executa uma sequência de passos, avaliando o estado inicial dos processos na ordem Pa, Pb, Pc e Pd. O primeiro dos processos válidos será passado de pronto a ativo. Para cada um dos processos, as relações de dependência entre processos e semáforos são verificadas, de forma a não se permitir a mais de um processo a execução de uma região crítica controlada por um mesmo semáforo.

Estabelece-se uma fila de processos para cada semáforo, simulando-se o controle das condições de Espera de um escalonador de processos de um sistema operacional. Evidencia-se no fluxograma, a sequência de escalonamento e as possíveis mudanças de estado do processo, de Ativo à Espera ou à Pronto, ciclicamente. Consideram-se processos em *loop* infinito, que podem ou não compartilhar suas regiões críticas com os demais processos.

5 | CONCLUSÃO

O que se propôs neste trabalho foi a implementação de um método didático de ensino para o mecanismo de semáforos, mecanismo este de suma importância ao entendimento da concorrência em sistemas operacionais e sempre explorado em cursos homônimos.

A implementação de um simulador que aplique estes conceitos de forma flexível e configurável pelo aluno, serve como importante instrumento de apoio no processo de aprendizado e como ferramenta de verificação dos conhecimentos adquiridos, uma vez que o mesmo pode simular os exercícios propostos para verificar as tabelas por ele criadas.

Esta técnica permite ainda que o mecanismo de semáforos possa ser aprendido sem a necessidade da implementação direta de códigos em sistemas operacionais, quando não há disponibilidade de infra-estrutura para tanto. Este, no entanto, não é seu objetivo primeiro, já que a implementação de código em laboratórios de computação sempre virá a acrescentar mais conteúdo ao aluno.

O ganho apresentado por esta técnica é, sem dúvida, a fusão de diversos conhecimentos em uma única proposição, que oferece ao aluno uma forma objetiva de consolidação do aprendizado. A experiência tem demonstrado que a medida em que o aluno compreenda as noções aqui expostas, ele se torna capaz de construir tabelas de estado cada vez mais complexas de forma natural, não importando a quantidade de processos e de regiões críticas envolvidas, o que demonstra a praticidade do método.

O programa do simulador está disponível para avaliação, mediante contato com o autor, por meio de correspondência eletrônica.

REFERÊNCIAS

BEN-ARI, M. **Principles of Concurrent and Distributed Programming**. Hertfordshire: Prentice Hall International, 1990.

DIJKSTRA, Edsger. Cooperating Sequential Processes. **Technical Report EWD-123 of Technical University**, Eindhoven, the Netherlands. 1965.

SILBERSCHATZ, Abraham; GAGNE, Greg; GALVIN, Peter Baer. Fundamentos de sistemas operacionais. 9. ed. São Paulo: LTC, 2015.

STALLINGS, William. **Arquitetura e Organização de Computadores**. 10. ed. São Paulo: Pearson, 2017.

TANENBAUM, Andrew; BOS, Herbert. **Sistemas Operacionais Modernos**. 4.ed. São Paulo: Pearson Universidades, 2016.

ZALUSKI, Patrícia R. S.; DANTAS, Maria J. P. **Aplicação de Softwares de Simulação na Educação em Engenharia: Um Relato de Experiências Internacionais Exitosas em Cursos de Modelagem e Simulação de Sistemas**. In: XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2017, Santa Catarina, Anais. Joinville, 2017.

CAPÍTULO 5

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO: INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO PARTICIPATIVO, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL

Data de aceite: 02/08/2021

Luiz Roberto Santos Moraes

Departamento de Engenharia Ambiental da
Universidade Federal da Bahia
<http://lattes.cnpq.br/1754614469917208>

RESUMO: O capítulo faz uma sucinta abordagem conceitual sobre Estado e políticas públicas, o papel e importância do planejamento, os princípios, condicionantes sistêmicos e interfaces setoriais como conteúdos da política e os planos como instrumentos de gestão. Aborda também o planejamento participativo, integrado e sustentável na elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico, os atributos normativos e princípios dos direitos humanos à água e ao esgotamento sanitário, a metodologia de participação e mecanismos de controle social nas etapas de sua elaboração, implementação, avaliação e revisão, bem como o Plano na Lei n. 11.445/2007.

PALAVRAS-CHAVE: Políticas públicas; planejamento participativo, integrado e sustentável; plano municipal de saneamento básico; direitos humanos à água e ao esgotamento sanitário; Lei n. 11.445/2007.

MUNICIPAL BASIC SANITATION PLAN: PARTICIPATORY, INTEGRATED AND SUSTAINABLE PLANNING INSTRUMENT

ABSTRACT: The chapter provides a brief conceptual approach to the State and public policies, the role and importance of planning, the principles, systemic constraints and sectorial interfaces as policy contents and plans as management instruments. It also addresses participatory, integrated and sustainable planning in the preparation of the Municipal Basic Sanitation Plan, the normative attributes and principles of the human rights to water and sanitation, the methodology of participation and social control mechanisms in the stages of its preparation, implementation, evaluation and review, as well as the Plan in Law No. 11.445/2007.

KEYWORDS: Public policies; participatory, integrated and sustainable planning; municipal basic sanitation plan; human rights to water and sanitation; Law No. 11.445/2007.

INTRODUÇÃO¹

A compreensão da constituição e conteúdo de uma política de saneamento básico² passa, necessariamente, pelo entendimento dos fatores políticos, sociais, econômicos, dentre outros, que determinam a atuação do Estado no campo das políticas públicas e sociais em cada contexto histórico. As visões sociais de mundo³

1 A partir de Moraes (2009)

2 Saneamento básico entendido como ações e serviços públicos de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem e manejo de águas pluviais e limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos.

3 Löwy (1987) ao discutir sobre ideologia e ciências sociais no mundo contemporâneo, adota o conceito de “visão social de mundo” em lugar de “ideologia”, em face das controvérsias da chamada pós-modernidade.

de cada época, a correlação de poder entre as nações, a situação econômica, o nível de organização e poder de influência da sociedade civil e, no campo epistemológico, o caráter e conteúdo do saber produzido, formam uma malha complexa que influenciam a ação do Estado (BORJA, 2004).

Nos campos da sociologia e da ciência política, alguns autores têm apontado para o reflexo do debate epistemológico nas interpretações contemporâneas das políticas públicas e sociais. Hirsch (1998), em suas reflexões sobre Estado, capital e globalização, tem ressaltado que as teorias têm sido insuficientes para explicar a realidade contemporânea. Para ele, as transformações econômicas e sociais ocorridas após a crise do capitalismo de 1973 provocaram uma desordem no campo epistemológico.

Faleiros (1991) identifica pelos menos cinco vertentes de interpretação: a) as que consideram as políticas sociais como mecanismos de manutenção da força de trabalho; b) como conquista dos trabalhadores; c) como arranjos do bloco do poder; d) como doações das elites dominantes; e e) como instrumento de garantia dos direitos dos cidadãos.

Behring (2002) indica pelo menos quatro abordagens teóricas das políticas sociais: o *policismo*, o *redistributismo*, o *estatismo* e o *eclétismo*. No *policismo* a política social é automatizada do processo de produção, sendo reduzida à vontade política dos sujeitos. O *redistributivo* tem como ideal o *Welfare State*, entendendo a política social como *solução* das desigualdades, desconsiderando, portanto, a natureza contraditória do modo de produção capitalista. Segundo essa perspectiva, a luta política travada em torno da gestão do Estado e a ocupação de espaços de poder poderia redirecionar as políticas e a distribuição dos recursos com vistas à promoção da universalização do acesso aos direitos sociais e à ampliação da cidadania. O *estatismo* busca explicar a política social por meio do papel do Estado, que é tratado como uma instância acima das relações sociais, não estando, portanto, sujeito às demandas sociais. O *eclétismo* filia-se a categorias marxistas, embora também incorpore o enfoque redistributivista keynesiano.

Para ela, o papel do Estado seria o de articular acumulação e legitimação. O Estado, portanto, não estaria acima da sociedade, nem seria politicamente autônomo. Segundo essa perspectiva, o entendimento das políticas sociais deve passar pela análise da simbiose entre o estatal e o privado. Assim, o *locus* onde as políticas sociais são agenciadas estaria para além das instituições estatais, havendo uma complexa relação entre estatal/público/privado. A configuração das políticas sociais se daria por iniciativas do Estado, de empresas, sindicatos, ONGs ou instituições mistas. Aqui, a autora se articula com o conceito de Estado ampliado de Gramsci, essencial para o entendimento da relação Estado e sociedade civil (BEHRING, 2002).

Fleury (1994), ao realizar uma análise das características das políticas públicas e sociais, defende a multideterminação das mesmas. Para a autora, a política social seria a resultante possível e necessária das relações que historicamente se estabeleceram no desenvolvimento das contradições entre capital e trabalho, mediadas pela intervenção

do Estado, e envolvem pelo menos três atores principais: a burocracia estatal, a burguesia industrial e os trabalhadores urbanos. Essas políticas tornam-se cada vez mais multideterminadas em face dos interesses de setores capitalistas e da classe trabalhadora, tornando-as ora subordinadas aos interesses de consumo e lucratividade, em detrimento das necessidades da população, ora articuladas a interesses coletivos.

Ainda para Fleury (1994), a intervenção estatal via políticas sociais é uma função intrínseca ao Estado Moderno, regulando e proporcionando condições de manutenção e reprodução de uma parcela da população. O Estado, por meio de políticas sociais, atua na perspectiva de atenuar os efeitos destrutivos da ordem capitalista. A intervenção estatal por meio de políticas sociais é em si a manifestação da natureza contraditória do capitalismo. As políticas públicas teriam o papel de mediar a relação entre Estado e sociedade, assim, como se constitui no meio pelo qual as elites constroem a sua hegemonia.

Segundo Hirsch (1996), a noção de Estado Provedor, do Bem-Estar Social, dá lugar ao Estado Competência, ou competitivo, que privilegia a regulação da relação capital-trabalho e limita a ação direta do Estado no campo social. Essa noção vincula-se à visão liberal clássica, na qual a liberdade ou as condições de vida dependem das capacidades individuais. Na visão neoliberal, o mercado é capaz de oferecer as condições para que os próprios indivíduos conquistem a sua condição de vida. Daí surge a noção de produtividade individual, competitividade entre cidades e do Estado. Dessa forma, o espaço público, coletivo, esvai-se, dando lugar ao indivíduo, ao privado, ao mercado.

Observando-se a atuação do Estado brasileiro no tratamento das ações de saneamento básico, nota-se uma ambiguidade. Segundo Rezende e Heller (2008), a história do saneamento no País pode ser dividida em três fases entre os séculos XVI e XX: na primeira, o Estado estava ausente das questões sanitárias (século XVI até meados do século XIX); na segunda, o Estado assume as ações sanitárias, havendo uma relação entre a melhoria da saúde e a produtividade do trabalho (meados do século XIX até o final de 1959); e na terceira (a partir da década de 60), ocorre uma bipolarização entre as ações de saúde e as de saneamento básico. A saúde passa a ter cada vez mais um caráter assistencialista e o saneamento básico passa a ser tratado como medida de infraestrutura. Com o advento do Plano Nacional de Saneamento (Planasa), a partir de 1971, as ações de saneamento básico passam a ser tratadas segundo a lógica empresarial do retorno do capital investido. Mas, nesse mesmo período, as prefeituras continuam realizando as obras de drenagem de águas pluviais, e, mesmo de forma precária, a coleta e destinação dos resíduos sólidos. No mesmo período, o Ministério da Saúde, por meio da Fundação Nacional de Saúde, realizou diversas ações de saneamento básico vinculadas à saúde pública. A partir da década de 90, passa a existir uma forte pressão para a privatização dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, aparecendo, mais recentemente, como modalidade de concessão dos serviços a Parceria Público-Privada (PPP).

O saneamento básico é alvo de interesse de diversas instituições governamentais e empresariais, em diversas esferas de governo, determinando o distanciamento do seu fim maior: a promoção da salubridade ambiental e da saúde pública. Nos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos, essa situação contribui para o desarranjo institucional e a pulverização dos poucos recursos existentes. O déficit de cobertura dos serviços, bem como a falta de recursos para lhe fazer frente têm apresentado crescentes desafios aos governos no sentido da modificação desse quadro, agravado com a globalização da economia em face do processo de ampliação da pobreza das nações e de seus povos.

A área de saneamento básico recebeu, evidentemente, influências desse momento político, desviando-se suas ações do campo da saúde pública e/ou da infraestrutura, passando a ser encaradas como um serviço que, como tal, pode ser submetido às leis do mercado, e, portanto, à lei do lucro. Essas teses influenciaram a privatização dos serviços públicos de saneamento básico em alguns países em desenvolvimento, solução que tem sido defendida tanto por instituições financeiras internacionais, como Fundo Monetário Internacional (FMI), Banco Mundial (BIRD) e Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), e por governos locais que apoiam os ideais neoliberais. Contraditoriamente, a tese da privatização dos serviços públicos de saneamento básico no mundo dito desenvolvido não prosperou, mantendo-se, na maioria dos países, a matriz pública como prestadora dos serviços e, em outros, a remunicipalização/reestatização dos serviços.

É importante ressaltar, contudo, que a natureza das ações de saneamento básico coloca-a como essencial à vida humana e à proteção ambiental, sendo uma ação, eminentemente coletiva, em face da repercussão da sua ausência, constituindo-se, portanto, em uma meta social. Como meta social, situa-se no plano coletivo, no qual os indivíduos, a comunidade e o Estado têm papéis a desempenhar (BORJA, 2004). Considerada a sua natureza, isto é, seu caráter de monopólio natural, o esforço para a sua promoção deve-se dar em vários níveis, envolvendo diversos atores. As ações de saneamento básico, além de fundamentalmente de saúde pública, contribuem para a proteção ambiental, representando também bens de consumo coletivo, serviços essenciais, direito social de cidadania, direito humano fundamental e dever do Estado.

Os serviços públicos de saneamento básico devem estar submetidos a uma política pública de saneamento básico, formulada com a participação social, e entendida como o conjunto de princípios e diretrizes que conformam as aspirações sociais e/ou governamentais no que concerne à regulamentação do planejamento, da execução, da operação, da regulação, da fiscalização e da avaliação desses serviços públicos (MORAES, 1994). Os entes federados devem assumir como prioridade a formulação de um arcabouço jurídico-institucional para a área de saneamento básico, que venha fortalecer a função social dos serviços de saneamento básico, seu caráter público, devendo contemplar os princípios de atendimento universal, de equidade, integralidade, participação e controle social, gestão pública e responsabilidade municipal. Além disso, cabe aos governos dar

prioridade a investimentos qualificados nessa área, visando universalizar o atendimento e melhorar a qualidade dos serviços, contribuindo, dessa forma, para reduzir a dívida social.

PAPEL DO PLANEJAMENTO NO PROCESSO DE FORMULAÇÃO DA POLÍTICA PÚBLICA

O planejamento em políticas públicas deve ser visto e praticado como um processo de decisão político-social e não apenas como um produto técnico. O planejamento depende de informações precisas, transparência, ética, debate de visões diferentes, vontade de negociar e de buscar soluções conjuntas que sejam aceitáveis para toda a sociedade (OLIVEIRA, 2006).

O planejamento é uma ação política, uma vez que representa uma forma da sociedade exercer o poder sobre o seu futuro. O planejamento consiste em um processo dinâmico de lidar com conflitos de interesse e de reflexão e análise para escolha de alternativas que permitam alcançar o futuro desejado. Pode ser visto como uma ferramenta de trabalho utilizada para tomar decisões, marcadas por visões sociais de mundo, e organizar as ações de forma lógica e racional, de modo a garantir os melhores resultados e a realização dos objetivos de uma sociedade (BUARQUE, 1999). O planejamento pode contribuir para o desenvolvimento humano⁴, identificar vocações e estabelecer as estratégias e políticas.

Planejar consiste em partir do estado presente do objeto para definir o estado futuro desejado, sendo o estado presente avaliado a partir de uma análise situacional/ diagnóstico do objeto a ser planejado, que deve contar com a participação de diferentes sujeitos, como gestores, técnicos, sociedade civil organizada e população em geral. Para a definição do estado futuro desejado torna-se necessário o estabelecimento de princípios, diretrizes, objetivos, cenários, metas, programas, projetos e ações.

O planejamento envolve decisões e escolhas de alternativas em torno de objetivos coletivos e a definição de ações futuras passa por uma negociação e formulação política. Toda escolha coletiva envolve interesses e percepções, especialmente sobre o que se pretende alcançar no futuro, que se apresentam diferenciados em qualquer grupo social (BUARQUE, 1999).

No entanto, o planejamento é também um processo ordenado e sistemático de decisão, o que lhe confere uma conotação técnica e racional de formulação e suporte para as escolhas da sociedade. Assim, o planejamento incorpora e combina dimensões política e técnica.

Os objetivos e interesses na sociedade podem ser muito diferenciados e são, muitas vezes, conflitantes. Logo, as decisões tomadas no processo de planejamento resultam

⁴ Segundo Veiga (2006), só existe desenvolvimento quando os benefícios do crescimento econômico servem para ampliar as capacidades humanas, entendidas como o conjunto das coisas que as pessoas podem ser, ou fazer, na vida, sendo as quatro mais elementares: ter uma vida longa e saudável; ser instruído; ter acesso aos recursos necessários para um nível de vida digno; e ser capaz de participar da vida da comunidade.

de uma disputa política entre os atores/protagonistas, procurando influenciar no projeto coletivo, com suas visões sociais de mundo, suas ideias e expectativas em relação ao futuro e utilizando seus meios e instrumentos de poder.

O planejamento, como parte do processo político, constitui um espaço privilegiado de negociação entre os atores/protagonistas sociais, confrontando e articulando seus interesses e suas propostas. Como a hegemonia é um fato social dinâmico e construído, o processo de planejamento representa uma oportunidade para uma nova construção, ordenação e definição de objetivos que dominam na sociedade. Ele cria as condições para a reconstrução da hegemonia, quando articula, técnica e politicamente, os atores/protagonistas sociais para as escolhas (BUARQUE, 1999).

O planejamento participativo leva a uma reformulação da posição dos técnicos na definição das prioridades e à necessidade de uma estrutura de participação e mobilização da sociedade para a tomada de decisões, que conta com a colaboração da reflexão técnica. Assim, o planejamento participativo pode construir um projeto coletivo reconhecido pela sociedade local, contando com o compromisso dos atores/protagonistas sociais (lideranças de movimentos populares e sociais, dirigentes sindicais, empresários, ONGs, políticos eleitos, mídia, dentre outros) e agentes públicos (gestores, técnicos e servidores administrativos). O planejamento, realizado de forma participativa, pode estabelecer um processo de decisão, tecnicamente fundamentada e politicamente sustentada, sobre as ações necessárias e adequadas à promoção do desenvolvimento humano nas unidades político-administrativas.

O processo de planejamento e os planos representam instrumentos de negociação com os atores/protagonistas sociais, tanto na elaboração quanto com o plano concluído, bem como de aglutinação política dos atores, na medida em que pode expressar, de forma técnica e organizada, o conjunto das decisões e compromissos sociais. Além disso, o planejamento e os planos, construídos de forma participativa, conferem transparência às alternativas escolhidas e decisões tomadas pela sociedade, explicitando os objetivos e as prioridades.

Oliveira (2006) assinala que a importância do processo de planejamento em políticas públicas se dá, principalmente, na implementação, pois ela conduz aos resultados finais das políticas, planos, programas ou projetos.

Assim, o processo de planejamento no campo das políticas públicas, incluindo as de saneamento básico, deverá considerar algumas questões como: 1) o objeto a ser planejado - o que implica em conhecimento sobre o objeto, conceitos; 2) os sujeitos do processo - ou seja, quem participará do planejamento; 3) os pressupostos do planejamento - os princípios que orientarão o planejamento, e seu instrumento, o plano; 4) objetivos - a serem definidos no processo de planejamento; 5) metodologia - definição de método a ser utilizado.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO: INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO PARTICIPATIVO, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL; MARCO DO DIREITO HUMANO À ÁGUA E AO ESGOTAMENTO SANITÁRIO; METODOLOGIA DE PARTICIPAÇÃO E CONTROLE SOCIAL NAS ETAPAS DE ELABORAÇÃO, IMPLEMENTAÇÃO, AVALIAÇÃO E REVISÃO

O Plano Municipal de Saneamento Básico não deve ser visto como um produto eminentemente técnico, de difícil elaboração e entendimento por leigos. Esta visão tecnocrática do planejamento deve ser modificada. O Plano como instrumento de planejamento deve ser fruto de um processo de decisão político-social, devendo-se ter o cuidado para não transformá-lo em peça meramente técnica, elaborada para atender demandas locais. Os estudos de Braga (1995) sobre o fracasso dos planos diretores de desenvolvimento integrado de municípios de São Paulo ilustrou essa questão. O autor identificou dois motivos principais: i) a obrigatoriedade da elaboração do plano não foi suficiente para que os agentes públicos municipais percebessem a importância do planejamento enquanto um processo eficiente de gestão, sendo visto apenas como exigência burocrática e inútil ou como um instrumento útil apenas para facilitar a obtenção de recursos financeiros; e ii) a elaboração da maioria dos planos por órgãos ou empresas estranhas à Administração Pública municipal, inviabilizou a sua implementação, pois os planos podem ficar interessantes tecnicamente, mas inviáveis politicamente ou não ficam bons nem técnica nem politicamente devido aos elaboradores não conhecerem a realidade local ou pode tornar-se algo estranho à Administração Pública municipal que não participou de sua elaboração e, assim, não o considera como um instrumento legítimo, não se interessando por sua implementação.

O Plano deve ser dotado de características: a) política - fruto de processo de decisão político-social; um plano muito bom tecnicamente, pode ser inviável politicamente e, assim, pode não ser implementado); b) transparência - tornar público os estudos, a situação atual e as prioridades para os serviços públicos de saneamento básico; e c) democratização - garantida pela participação da sociedade estabelecida também pela Lei n. 11.445/2007 (BRASIL, 2007).

O Plano deverá atender aos princípios fundamentais estabelecidos na Lei n. 11.445/2007 e considerar também, quanto aos componentes abastecimento de água e esgotamento sanitário, os atributos normativos e princípios dos direitos humanos à água e ao esgotamento sanitário (DHAES), finalmente reconhecidos e estabelecidos pela Resolução A/RES/64/292, de 28/07/2010, da Assembleia Geral das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2010), apoiada pelo Brasil e outras 121 nações, com 41 abstenções e nenhum voto contrário. Incluir os DHAES altera o planejamento, pois significa o Plano considerar: igualdade substantiva e não discriminação (gênero, étnico-racial, nível de renda, urbano-rural, dentre outras); realização progressiva dos direitos humanos (vertical-melhorar progressivamente o nível de serviço; e horizontal-avançar progressivamente com

foco nos não atendidos e nos atendidos de forma precária); regulação orientada pelos DHAES; responsabilização e prestação de contas; acessibilidade econômica; esferas da vida além do domicílio, com ênfase nos espaços públicos (principalmente nas populações em situação de rua e nas pessoas que trabalham na rua), escolas, centros de saúde e presídios, com atendimento de água potável, instalações sanitárias adequadas e esgotamento sanitário; abastecimento de água e esgotamento sanitário como direitos humanos e não como negócio/mercadoria (HELLER, 2015).

O Plano deve também ser fruto de um processo de planejamento integrado, de uma construção coletiva e sua visão como processo requer a incorporação de perspectiva estratégica, baseado em cenários (longo prazo), que propicia transformá-lo em ação efetiva. Torna-se necessário que o Plano seja elaborado em linguagem acessível e clara para que todos possam participar de sua elaboração. Para que o processo seja público e transparente é importante a construção de estratégias eficazes de comunicação, utilizando-se diversos meios como rádio, jornais, televisão, internet, cartilhas, elementos importantes para a mobilização da população e divulgação das informações e propostas. As redes sociais estabelecidas na sociedade civil organizada, formada por associações de moradores, entidades profissionais, sindicatos, ONGs, entidades de classe e outras, como a escolar, a do orçamento participativo, as igrejas, devem ser envolvidas para a sua divulgação. Os documentos para consulta devem estar à disposição em locais públicos e de conhecimento da população e na internet.

O início da elaboração do Plano pode ser um momento estratégico para instalar no município um fórum permanente de discussão sobre as questões de saneamento básico, podendo se configurar no embrião de Conselho da Cidade ou de Conselho Municipal de Saneamento Básico ou equivalente, caso não exista.

A ideia de participação social impõe a presença explícita e formal no interior do aparato estatal dos vários segmentos sociais, de modo a tornar visível e legitimada a diversidade de interesses e projetos. A ideia suscita e se associa à noção de controle social do Estado, por oposição ao controle privado ou particular, exercido por grupos com maior poder de acesso e influência (MORAES; OLIVEIRA, 2000).

Barros (1992, p.15), conceitua controle social com a “capacidade que a sociedade tem de influir sobre a gestão pública com o objetivo de banir as práticas fisiológicas e clientelísticas que conduziram à privatização da ação estatal no Brasil”. Já Silva (1992, p.4) considera que o controle social que se deseja é a “permanente prestação de contas dos gastos públicos à sociedade e o envolvimento desta, de forma sistemática, e não apenas conjuntural, com o trato da administração de bens e serviços públicos”.

As questões relacionadas à participação e ao controle social na gestão dos serviços públicos de saneamento básico, vão muito além do acesso dos usuários aos órgãos de defesa do consumidor, voltados, sobretudo, para atender aos interesses de clientes de serviços prestados. Aos usuários-cidadãos, não interessa apenas a existência de canais

de reclamação quando os serviços não forem prestados adequadamente. A eles e aos não usuários, interessam participar, discutir, monitorizar, intervir efetivamente no planejamento, regulação, prestação e fiscalização dos serviços, interagir com as instituições responsáveis pelos serviços (MORAES; BORJA, 2001).

O Plano Municipal de Saneamento Básico deve ser aprovado por Conselho Municipal e instituído por lei, devendo conter os elementos básicos para a implementação da política e o planejamento das ações no município, incluindo todos componentes do saneamento básico, planos de investimentos, metas, definição de prioridades, recursos etc. O Plano deverá ser avaliado e revisado periodicamente, de forma articulada com as políticas municipais de saúde, meio ambiente/águas, desenvolvimento urbano/habitação e desenvolvimento agrário, dentre outras. Para sua elaboração, deve-se considerar o perfil epidemiológico da população e indicadores socioambientais, incluindo o nível de renda da população, questões de gênero e étnico-raciais e a salubridade ambiental.

O Plano deve informar como, quando, por quem, com que recursos serão implementadas as ações e que mecanismos de avaliação serão utilizados para identificar os erros e acertos e os possíveis redirecionamentos.

Para subsidiar a elaboração do Plano é importante que seja criado e estruturado um Sistema de Informações/Banco de Dados, incluindo as condições de salubridade ambiental e dos serviços públicos de saneamento básico, dentre outras. Esse Sistema pode fornecer informações para elaboração de análise situacional/diagnóstico da realidade, planejamento e avaliação das ações. Torna-se necessário que se garanta o acesso às informações deste Sistema a todos os órgãos públicos, entidades da sociedade civil e população em geral, de forma que o mesmo se constitua em um instrumento de cidadania.

Com essas informações, a secretaria municipal responsável pelo saneamento básico pode identificar os principais problemas, planejar as ações e avaliá-las.

O Conselho Municipal de Saneamento Básico ou da Cidade ou equivalente deve ser uma instância colegiada de caráter deliberativo e consultivo, composto por representantes do Poder Público municipal, dos prestadores de serviço, dos usuários e de outros segmentos sociais, devendo ser criado por lei municipal. O Conselho tem a competência de formular as políticas de saneamento básico, definir estratégias e prioridades, além de acompanhar e avaliar sua implementação. Seu regulamento e suas competências devem ser compatíveis com os princípios, diretrizes e objetivos da Política Municipal de Saneamento Básico.

Propõe-se a realização de Conferência da Cidade ou Municipal de Saneamento Básico a cada dois anos, visando subsidiar a formulação/avaliação da Política e a elaboração/avaliação/revisão do Plano.

A Conferência é uma forma eficaz de mobilização, permite a democratização das decisões e o controle social da ação pública. Possibilita a construção de pactos sociais na formulação de políticas e na gestão dos serviços públicos de saneamento básico, com atendimento universal e de qualidade, contribuindo para a construção da cidadania. A

Conferência pode contribuir para o plano municipal de saneamento básico; pode levar à criação e à avaliação de entes locais de regulação, fiscalização e instâncias de controle social; populariza o debate sobre o saneamento básico; cria e reforça os laços entre as entidades representativas da área e da sociedade civil; propicia maior inserção nos meios de comunicação; e contribui para a própria formação de quadros e revigoração das entidades (MORAES; BORJA, 2001).

Qualquer que seja a organização e composição do sistema municipal de saneamento básico, a articulação entre os diversos níveis de governo é de grande importância no esforço do município em alcançar a efetividade, eficácia e eficiência na implementação da Política Municipal de Saneamento Básico. Um dos mecanismos para dar suporte às ações de saneamento básico no âmbito municipal é a promulgação de lei instituindo a Política Municipal de Saneamento Básico.

A seguir encontra-se apresentada metodologia desenvolvida e utilizada no processo de elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico de alguns municípios brasileiros (BRASIL, 2005).

Para elaboração do Plano, faz-se necessário que o Poder Público Municipal tome a decisão política de realizá-lo. Assim sendo, a Prefeitura Municipal deverá formar equipe para tal, e, caso necessário para auxiliar na sua elaboração, pode firmar convênio com Universidade ou Centro de Pesquisa/Tecnologia da região, preferencialmente público, ou mesmo, contratar ONG ou empresa de consultoria que tenha conhecimento no campo do saneamento básico.

Tem-se utilizado para a elaboração do Plano a formação de duas instâncias:

- *Comitê ou Grupo Executivo*, composto por técnicos e consultores das secretarias e órgãos municipais responsáveis pelos serviços públicos de saneamento básico e que tenham interfaces com eles, bem como por pesquisadores e alunos de Universidade ou Centro de Pesquisa/Tecnologia conveniado e entidades da sociedade civil, tendo como principais atribuições: elaborar a análise situacional/diagnóstico do saneamento básico e de seus serviços no município; avaliar estudos, planos e projetos existentes dos diferentes componentes do saneamento básico, bem como outros que tenham relação com o saneamento básico; propor ações para implementação ou melhorias dos serviços públicos de saneamento básico do ponto de vista técnico e institucional.
- *Comitê de Coordenação ou Consultivo*, instância formada por representantes (autoridades e/ou técnicos) das instituições do Poder Público municipal, estadual e federal, estas últimas sediadas no município, relacionadas com o saneamento básico. Além destas representações, o Comitê deverá contar com os membros do Conselho das Cidades ou Municipal de Saneamento Básico, dos Conselhos de Saúde e de Meio Ambiente, e de representantes de organizações da Sociedade Civil (entidades do Movimento Popular, Social, Sindical, Ambientalista e de profissionais, de defesa do consumidor, dentre outras), tendo como

principais atribuições: discutir e avaliar, mensalmente ou a cada dois meses, o trabalho elaborado pelo *Comitê/Grupo Executivo*; criticar e sugerir alternativas, auxiliando o trabalho do *Comitê/Grupo Executivo* na elaboração do Plano; avaliar o andamento dos trabalhos do ponto de vista da sua viabilidade técnica, operacional, econômico-financeira, social e institucional, buscando promover a integração das ações e dos serviços públicos de saneamento básico.

A experiência brasileira tem mostrado que o tempo para elaboração do Plano, por meio de processo participativo, é, em média, de doze meses. O Quadro 1 apresenta as etapas e atividades para a elaboração, aprovação, institucionalização, implementação, avaliação e revisão do Plano.

Etapa	Atividades
<p>1^a Fundamentos</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Definir diretrizes e conceitos básicos, com orientações gerais e específicas para cada órgão relacionado com o saneamento básico. - Discutir as diretrizes do Plano em reunião pública do <i>Comitê de Coordenação ou Consultivo</i> com participação dos diversos segmentos da sociedade. - Elaborar diagnóstico com levantamento da situação atual, identificando as carências e determinando a demanda reprimida de cada serviço público de saneamento básico. - Realizar prospectiva e planejamento estratégico com avaliação das condições atuais e projeção para o horizonte proposto pelo Plano, considerado o Plano Diretor Municipal, caso exista.
<p>2^a Propostas (Programas, Projetos e Ações)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentar as conclusões da primeira etapa ao <i>Comitê de Coordenação ou Consultivo</i> em reunião pública para crítica e encaminhamento de propostas. - Realizar proposições contemplando aspectos, como: <ul style="list-style-type: none"> · Diretrizes para a ação municipal (obras e serviços). · Estrutura administrativa para a gestão do Plano e definição de competências. · Sistema de avaliação permanente e integrado ao sistema de planejamento municipal. · Prioridades de investimentos com orientação para o cronograma de implantação. - Discutir as proposições em reuniões/audiências públicas do <i>Comitê de Coordenação ou Consultivo</i>. - Realizar reunião/audiência pública final do <i>Comitê de Coordenação ou Consultivo</i> (Seminário Final) para discussão do documento final e encaminhamento do Plano ao Conselho da Cidade ou Municipal de Saneamento Básico, ou equivalente.
<p>3^a Aprovação</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Discussão pelo Conselho da Cidade ou Municipal de Saneamento Básico ou equivalente e/ou pelo Poder Legislativo Municipal. - Aprovação pelo Conselho da Cidade ou Municipal de Saneamento Básico ou equivalente e apreciação e aprovação de Projeto de Lei pelo Poder Legislativo Municipal com sanção de Lei pelo Chefe do Poder Executivo Municipal.

4ª Institucionalização	- Elaboração e aprovação de resoluções pelo Conselho da Cidade ou Municipal de Saneamento Básico e decretos regulamentadores pelo Chefe do Poder Executivo Municipal. - Realização das alterações administrativas necessárias para implementar o Plano. - Realização de previsões orçamentárias.
5ª Implementação	- Implementação dos programas, projetos e ações propostas no Plano.
6ª Acompanhamento e Avaliação	- Acompanhamento trimestral e avaliação anual da implementação do Plano pelo Conselho da Cidade ou Municipal de Saneamento Básico, ou equivalente.
7ª Revisão	- Revisão e atualização do Plano a cada 6 (seis) anos, embora a Lei n. 14.026/2020 tenha estabelecido prazo de 10 (dez) anos.

Obs.: As atividades das 1ª e 2ª etapas são desenvolvidas pelo *Comitê ou Grupo Executivo*.

Para desenvolver as atividades das 6ª e 7ª etapas propõe-se que a Prefeitura Municipal crie Comitê Gestor do PMSB a partir da experiência com o *Comitê Executivo*.

Quadro 1. Etapas e Atividades para o Desenvolvimento de Plano Municipal de Saneamento Básico.

O PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO (PMSB) NA LEI N. 11.445/2007

A Lei n. 11.445/2007 (BRASIL, 2007) estabelece a elaboração de PMSB como instrumento de planejamento para a prestação dos serviços públicos de saneamento básico que deverá atender aos princípios fundamentais estabelecidos na Lei. A elaboração e edição do PMSB (art. 9º, I e art. 19, § 1º da Lei, respectivamente) é de responsabilidade do município, titular dos serviços, devendo contemplar as componentes abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (art. 3º, I, a-d) que pode se dar em planos específicos (art. 19), abrangendo todo o território do Município (art. 19, § 8º) e tendo como escopo mínimo: i) diagnóstico da situação e de seus impactos nas condições de vida, utilizando sistema de indicadores sanitários, epidemiológicos, ambientais e socioeconômicos, bem como apontando as causas das deficiências detectadas; ii) objetivos e metas de curto, médio e longo prazos para a universalização, admitidas soluções graduais e progressivas, observando a compatibilidade com os demais planos setoriais; iii) programas, projetos e ações necessárias para atingir os objetivos e metas, de modo compatível com os respectivos planos plurianuais e com outros planos governamentais correlatos, identificando possíveis fontes de financiamento; iv) ações para emergências e contingências; e v) mecanismos e procedimentos para a avaliação sistemática da eficiência e eficácia das ações programadas (art. 19, I a V) e de sua efetividade. Assim, a programação das ações e dos investimentos necessários para a prestação universal, integral e atualizada dos serviços públicos de saneamento básico é definida com base no estado de salubridade ambiental e nos níveis de prestação dos serviços conforme estabelecido no PMSB.

Para a elaboração do PMSB, o município poderá utilizar estudos fornecidos pelos

prestadores dos diferentes serviços públicos de saneamento básico (art. 19, § 1º). Caso aconteça a elaboração de plano específico para cada componente do saneamento básico, o município ficará responsável pela sua consolidação e compatibilização (art. 19, § 2º). O PMSB deverá ser compatível com planos de bacias hidrográficas e com os planos diretores dos Municípios em que estiverem inseridos, ou com os planos de desenvolvimento urbano integrado das unidades regionais por eles abrangidas (art. 19, § 3º) e por conter objetivos e metas de longo prazo, o PMSB deverá ser elaborado para um prazo de vinte anos e ser revisto periodicamente, em prazo não superior a 10 (dez) anos (art. 19, § 4º).

Em consonância com os princípios da transparência das ações (art. 2º, IX) e de controle social (art. 2º, X), as propostas dos planos de saneamento básico e os estudos que as fundamentem devem ser amplamente divulgadas, inclusive com a realização de audiências ou consultas públicas (art. 19, § 5º). Nas consultas ou audiências públicas deverá estar previsto o recebimento de sugestões e críticas (art. 51) e a análise e opinião de órgão colegiado quando de sua existência. A divulgação das propostas dos planos e dos estudos que as fundamentarem deve se dar por meio da disponibilização integral de seu teor a todos os interessados, inclusive por meio da internet e por audiência pública (art. 51, § único).

Cabe a entidade reguladora e fiscalizadora dos serviços públicos de saneamento básico, a responsabilidade da verificação do cumprimento dos planos de saneamento básico por parte dos prestadores de serviços, na forma das disposições legais, regulamentares e contratuais (art. 20, § único).

Nos serviços regionalizados, ou seja, com apenas um prestador do serviço para vários municípios, contíguos ou não (art. 14, I), deverá haver compatibilidade de planejamento (art. 14, III). Poderá ser elaborado plano regional para o conjunto de municípios atendidos por serviço público regionalizado de saneamento básico (art. 17), sendo que o mesmo poderá contemplar um ou mais componentes do saneamento básico (art. 17, § 1º), suas disposições prevalecerão sobre aquelas constantes dos planos municipais existentes (art. 17, § 2º), além de dispensar a necessidade de elaboração e publicação de PMSB (art. 17, § 3º).

Os planos de saneamento básico passam a ser instrumento importante não só para o planejamento e avaliação da prestação dos serviços como também para a obtenção de financiamento. Isso porque, segundo a Lei n. 11.445/2007, a alocação de recursos federais será feita em conformidade com as diretrizes e objetivos da Política Federal de Saneamento Básico (arts. 48 e 49), e com os planos de saneamento básico (art. 50). Ou seja, os planos passam a ser um referencial para obtenção de recursos.

A validade dos contratos de prestação de serviços públicos de saneamento básico está condicionada à existência de Plano (art. 11, I), bem como à existência de estudo que comprove a viabilidade técnica e econômico-financeira da prestação dos serviços, nos termos do plano de saneamento básico (art. 11, II). Os planos de investimentos e os

projetos relativos ao contrato também deverão ser compatíveis com o Plano (art. 11, § 1º) (BRASIL, 2007).

As alterações realizadas nos dispositivos acima referidos e em outros da Lei n. 11.445/2007, redação pela Lei n. 14.026/2020, tiveram como objetivo maior facilitar a privatização dos serviços públicos de saneamento básico, principalmente os de abastecimento de água e esgotamento sanitário, e, no que diz respeito ao planejamento desses serviços e ao seu instrumento, o PMSB, enfraquecer o planejamento municipal, dispensando e substituindo o mesmo por um plano regional, deixando claro a referida Lei, em seu parágrafo único do art. 19, a visão neoliberal dos legisladores e do governo federal ao considerar “planos de saneamento básico **os estudos que fundamentem a concessão ou a privatização**, desde que contenham os requisitos legais necessários” (BRASIL, 2020b, s.p., grifos nosso), além de também dificultar o exercício do controle social. O caput do mesmo artigo estabelece que os titulares dos serviços públicos de saneamento básico deverão publicar seus planos de saneamento básico até 31/12/2022 (data anteriormente estabelecida no Decreto n. 10.203/2020) (BRASIL, 2020a), manter controle e dar publicidade sobre o seu cumprimento.

CONCLUSÃO

Com base nos diversos aspectos abordados ao longo do texto, cabe concluir que: i) o campo teórico sobre Estado e políticas públicas e sociais é marcado pelo entendimento de fatores políticos, sociais, econômicos, dentre outros, em cada contexto histórico, com a ação do Estado sendo influenciada por visões sociais de mundo, correlação de poder entre as nações, situação econômica, nível de organização e poder de influência da sociedade civil e, no campo epistemológico, pelo caráter e conteúdo do saber produzido; ii) as políticas públicas de saneamento básico são dependentes do contexto sociopolítico-econômico e devem ser norteadas pelos princípios apresentados no texto, entendido o saneamento básico como direito social de cidadania e a água e o esgotamento sanitário direito humano essencial, e formuladas de forma democrática com participação popular, pois a integração participativa do cidadão na vida política e social é um fator importante também para a sustentação política das políticas, assegurando a efetividade e a continuidade das decisões. Na sua formulação devem ser considerados além dos princípios, os condicionantes sistêmicos e as interfaces setoriais; iii) o planejamento em políticas públicas deve ser visto e praticado como um processo de decisão político-social e não apenas como um produto técnico, como um processo ordenado e sistemático de decisão, que incorpora e combina as dimensões política e técnica; iv) os planos são importantes instrumentos do sistema de planejamento e gestão municipal, sendo o Plano Diretor Municipal o instrumento básico de política, desenvolvimento e expansão urbana, e suas diretrizes devem se constituir em orientação do Plano Municipal de Saneamento Básico; v)

o Plano Municipal de Saneamento Básico deve ser fruto de um processo de planejamento participativo, integrado e sustentável, de uma construção coletiva e não um produto eminentemente técnico, e sua visão como processo requer a incorporação de perspectiva estratégica, que propicia transformá-lo em ação efetiva; vi) a Lei n. 11.445/2007 estabelece a elaboração de Plano de Saneamento Básico como instrumento de planejamento para a prestação dos serviços públicos de saneamento básico que deverá atender aos princípios fundamentais e ao conteúdo mínimo estabelecidos na Lei, além dos atributos normativos e princípios dos direitos humanos à água e ao esgotamento sanitário não considerados na Lei, representando um desafio para as municipalidades; vii) o Estado federado joga papel importante e fundamental na viabilização da universalização dos serviços públicos de saneamento básico e na promoção da gestão técnica qualificada; e viii) a política e a gestão dos serviços públicos de saneamento básico devem também buscar a sustentabilidade ambiental, social e econômica.

REFERÊNCIAS

BARROS, M.E.D. A política de saúde pós IX CNS. In: **Seminário A Saúde que queremos**. Aracaju: Conasems, 1992. Não publicado.

BEHRING, E.R. **Política Social no Capitalismo Tardio**. São Paulo: Cortez, 2002.

BORJA, P.C. **Política de Saneamento, Instituições Financeiras Internacionais e Mega Programa: Um Olhar através do Programa Bahia Azul**. 2004. 400f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

BRAGA, R. Plano Diretor Municipal: três questões para discussão. **Caderno do Departamento de Planejamento**, FCT-Unesp, Presidente Prudente, v. 1, n. 1, p. 15-20, 1995.

BRASIL. Lei n. 14.026, de 15 de março de 2020b. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei n. 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei n. 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei n. 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei n. 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei n. 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm. Acesso em: 30 jun. 2021.

BRASIL. Decreto n. 10.203, de 22 de janeiro de 2020a. **Altera o Decreto n. 7.217, de 21 de junho de 2010, que regulamenta a Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10203.htm. Acesso em: 30 jun. 2021.

BRASIL. Lei n. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei n. 6.528, de 11 de maio de 1978.** (Redação pela Lei n. 14.026, de 2020). Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445.htm. Acesso em: 30 jun. 2021.

BRASIL. Ministério das Cidades. Organização Pan-Americana da Saúde. **Política e Plano Municipal de Saneamento Ambiental.** Experiências e Recomendações. Brasília: Ministério das Cidades, 2005.

BUARQUE, S.C. **Metodologia de planejamento do desenvolvimento local e municipal sustentável.** Brasília: MEPF; INCRA; IICA, 1999.

FALEIROS, V.P. **O que é Política Social.** São Paulo: Brasiliense, 1991.

FERNANDES, M. Uma vida melhor para a população urbana. **Revista de Administração Municipal**, v. 45, n. 224, p. 5-11, 2000.

FLEURY, S. **Estado sem Cidadãos.** Rio de Janeiro: Ed. Fiocruz, 1994.

HELLER, L. **Relatório do Relator Especial sobre o direito humano à água potável e ao esgotamento sanitário - A/70/203.** Assembleia Geral das Nações Unidas, 27/07/2015. Disponível em: <https://ondasbrasil.org/wp-content/uploads/2019/09/OITAVO-Relat%C3%B3rio-%E2%80%93Direitos-humanos-%C3%A0-%C3%A1gua-pot%C3%A1vel-e-ao-esgotamento-sanit%C3%A1rio.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2021.

HIRSCH, J. Globalização e mudança social: o conceito da teoria materialista do Estado e a Teoria da Regulação. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p. 9-31, 1998.

HIRSCH, J. **Globalização, Capital e Estado.** México: Universidade Autônoma Metropolitana, 1996.

LÖWY, M. **Ideologias e Ciência Social:** elementos para uma análise marxista. São Paulo: Cortez, 1987.

MORAES, L.R.S. Política e Plano Municipal de Saneamento Básico: aportes conceituais e metodológicos. In: Brasil. Ministério das Cidades. SNSA. PMSS. **Instrumentos das políticas e da gestão dos serviços públicos de saneamento básico/coord.** Berenice de Souza Cordeiro. Brasília: Editora, 2009. p.33-53. (Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos.; v.1)

MORAES, L.R.S.; BORJA, P.C. Política e Regulamentação do Saneamento na Bahia: situação atual e necessidade de arcabouço jurídico-institucional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2001

MORAES, L.R.S.; OLIVEIRA FILHO, A. Política e Regulamentação do Saneamento no Brasil: Análise Contemporânea e Perspectivas. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, IX., 2000, Porto Seguro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES; APESB; APRH, 2000.

MORAES, L.R.S. **Gestão do Saneamento.** Salvador: DHS/UFBA, 1994. Não publicado.

REZENDE, S.C.; HELLER, L. **O Saneamento no Brasil**. Políticas e Interfaces. 2.ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008.

OLIVEIRA, J.A.P. Desafios do planejamento em políticas públicas: diferentes visões e práticas. **Revista de Administração Pública**, v. 40, n. 1, p. 273-288, 2006.

SILVA, L. Controle social: que o Estado cumpra o seu dever e o cidadão o seu direito. In: **Seminário A Saúde que queremos**. Aracaju: Conasems, 1992. Não publicado.

VEIGA, J.E. **Meio Ambiente & Desenvolvimento**. São Paulo: Senac, 2006. (Série Meio Ambiente; 5)

UNITED NATIONS. General Assembly. **Resolution A/RES/64/292 adopted by the General Assembly on 28 July 2010**. Disponível em: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292. Acesso em: 30 jun. 2021.

CAPÍTULO 6

APLICAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O PLANEJAMENTO DE FLUXO DE POTÊNCIA REATIVA

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 28/06/2021

Poliana Schneider Durigon

Universidade Estadual do Oeste do Paraná/
Centro de Engenharia e Ciências Exatas
Foz do Iguaçu, PR
<http://lattes.cnpq.br/3473135707687520>

Carlos Roberto Mendonça da Rocha

Universidade Estadual do Oeste do Paraná/
Centro de Engenharia e Ciências Exatas
Foz do Iguaçu, PR
<http://lattes.cnpq.br/4658529903411274>

RESUMO: A representação computacional para resolver um problema real não é uma tarefa simples, pois depende da habilidade de se interpretar o problema que se quer resolver, através do conhecimento, identificando os elementos que deverão ser representados e também a forma que estes elementos se relacionarão neste processo. Neste contexto, um estudo cuidadoso sobre o problema de planejamento de reativos foi realizado, com o objetivo de identificar os objetos reais do problema, para a modelagem computacional. O algoritmo foi implementado na linguagem computacional orientada algebricamente GAMS. Para a verificação do modelo foi utilizado um sistema teste de 9 barras. Através de simulações, foram obtidos resultados que mostraram a adequação do modelo em representar o problema, contribuindo para a determinação de

soluções factíveis para o problema.

PALAVRAS-CHAVE: Otimização, Algoritmos, Sistemas de Potência, Potência Reativa.

COMPUTATIONAL APPLICATION FOR REACTIVE POWER FLOW PLANNING

ABSTRACT: The computational representation to solve a real problem is not a simple task, as it depends on the ability to interpret the problem you want to solve, through knowledge, identifying the elements that should be represented and also the way these elements will relate in this process. In this context, a careful study of the reactive planning problem was carried out, with the objective of identifying the real objects of the problem, for the computational modeling. The algorithm was implemented in the algebraically oriented computational language GAMS. To verify the model, a 9-bar test system was used. Through simulations, results were obtained that showed the adequacy of the model in representing the problem, contributing to the determination of feasible solutions for the problem.

KEYWORDS: Optimization, Algorithms, Power Systems, Reactive Power.

1 | INTRODUÇÃO

A representação computacional para solucionar um problema real não é uma tarefa simples, pois depende da habilidade de se interpretar o problema que se quer resolver, através do conhecimento, identificando os elementos que deverão ser representados e também a forma que estes elementos se

relacionarão nesse processo.

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a realização de um estudo para a aplicação computacional de uma metodologia para identificar a melhor barra para conectar bancos de capacitores, assim como a capacidade ótima dos respectivos, para melhorar o perfil de tensão de sistemas de distribuição. Como ferramenta para determinar o estado da rede, foi usado o método de varredura.

O objetivo principal do estudo foi mostrar a importância da aplicação computacional para a solução de problemas reais que acontecem no escopo da engenharia elétrica. Neste contexto foi proposto um assunto específico para ser explorado dentro da área de Sistemas Elétricos de Potência, relacionado com o Planejamento de Fluxo de Potência Reativa (PFPR).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Um dos métodos que pode ser utilizado para a solução de problemas de fluxo de potência de reativos nas linhas é o método da sensibilidade simplificado. Esse método se mostra eficiente para sistemas grandes e complexos assim como para sistemas de menor porte, além disso, ele se mostra de simples compreensão e solução (SEIFI, 2011).

O método de sensibilidade simplificado só leva em conta o aspecto do perfil de tensão do sistema, tornando a função de otimização dependente apenas dessa função, não sendo mais uma função multiobjetivo, como é o caso do método da sensibilidade.

Essa função objetivo, que leva em conta apenas o perfil de tensão, consiste em minimizar o valor de P_{min} , da equação representada a seguir.

$$P_{min} = \sum_{i=1}^N (V_i - V_i^{set})^2 \quad (1)$$

Em (1), N representa o número de barras do sistema, V_i o módulo de tensão na barra i e V_i^{set} a tensão de referência da barra i .

Se todas as barras do sistema estivessem com $1,0 pu$, ou seja, exatamente com a tensão de referência, à função objetivo seria atribuída o valor zero. Portanto, a minimização do valor de P_{min} acarreta no melhoramento do perfil de tensão do sistema (SEIFI, 2011).

Para o perfil de tensão estar dentro dos padrões exigidos pela ANEEL, as concessionárias de energia elétrica tem que entregar ao consumidor uma tensão no máximo 5% acima ou 7% abaixo da tensão nominal da rede (ALVES, 2012).

Na Figura 1 está esquematizado a aplicação desse método através de um fluxograma.

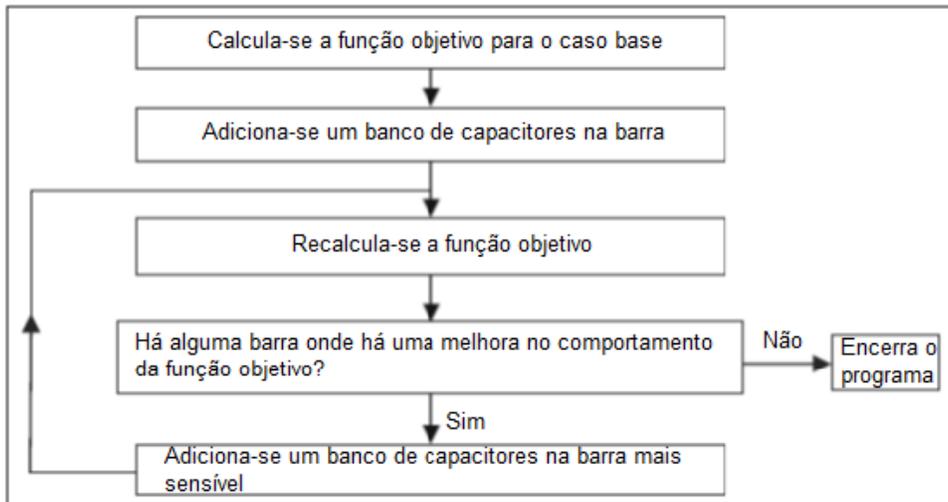


Figura 1 – Fluxograma do método de abordagem da sensibilidade.

Fonte: Adaptado de (SEIFI, 2011).

A abordagem desse método funciona de modo que o primeiro passo seja resolver o fluxo de potência, obtendo com a solução, o resultado da função objetivo para o caso base. Após este passo, é simulada a entrada de um banco de capacitores em cada barra do sistema, até que em algum desses casos a função objetivo calculada tenha resultados melhores que a do caso base, se isso for possível o processo continua, se não houver a melhora em relação ao caso base em nenhum dos casos, o processo é abortado. Se o processo continuar, com os novos resultados da função objetivo é possível verificar quais as barras mais frágeis do sistema e estabelecer a alocação de bancos de capacitores nas mesmas, e assim o processo se repete até que não haja mais nenhuma barra que melhore os resultados da função objetivo, ou até que todas as tensões estejam dentro dos padrões (SEIFI, 2011).

Existem outros dois critérios de parada na metodologia. O primeiro está relacionado com o número máximo de bancos de capacitores em cada barra do sistema. Sobre este aspecto, o número máximo considerado foi 5 bancos de capacitores por barra, que é um número usado tipicamente, e que geralmente está relacionado com as limitações físicas do local e a dificuldade da manutenção. O outro critério de parada considerado está relacionado ao perfil de tensão do sistema, então quando todas as barras do sistema estão acima de $0,93 pu$ o processo pode parar, pois o determinado já está dentro das obrigações mínimas de qualidade de energia elétrica exigida pela ANEEL.

A resolução da função objetivo se torna muito fácil após a solução do fluxo de potência, portanto uma das etapas mais difíceis para solucionar o problema foi estabelecer uma maneira simples e eficiente para obter os resultados necessários do fluxo de potência.

O método escolhido para resolver o problema de fluxo de potência, necessário para a solução do problema, foi o método de varredura ou Método *Backward Forward Sweep*. Esse método busca organizar o sistema em camadas, com a subestação fixada na camada 0 e assim seguindo a sequência da rede até chegar nos ramos mais distantes do sistema (SHIRMOHAMMADI, 1988).

O sistema de camadas está ilustrado na Figura 2, para a melhor compreensão de como é realizada essa organização em camadas. Ainda na figura encontra-se uma barra de referência que é a subestação, além de exemplificar alguns dados das barras 7 e 12, chamados respectivamente de L_1 e L_2 , as correntes associadas a essas barras são chamadas de I_{L_1} e I_{L_2} e a linha que conecta essas duas barras é chamada de L .

No método de varredura, após a organização do sistema em camadas, são numeradas as linhas de forma ordenada, da camada mais distante da subestação até chegar na camada 0. Com as camadas, os nós e as linhas definidas, o método pode começar o *loop* de resolução do fluxo de potência.

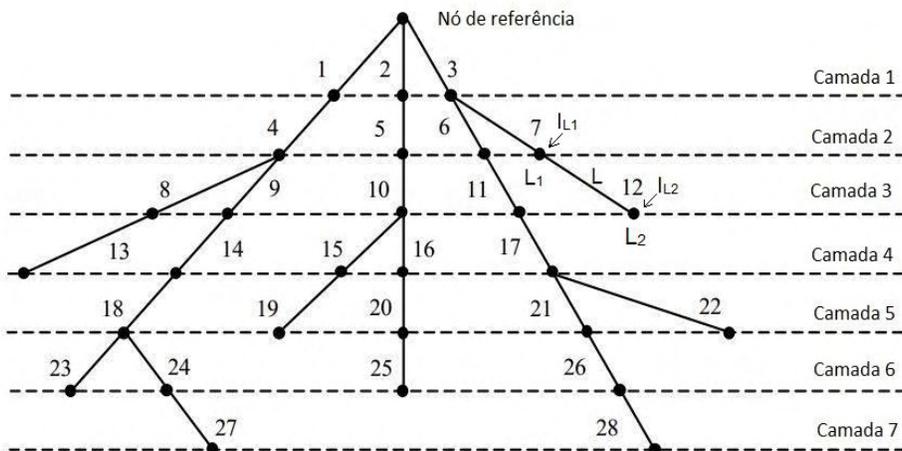


Figura 2 - Um exemplo de sistema organizado por camadas.

Fonte: Adaptado de (SHIRMOHAMMADI, 1988).

Para iniciar o processo iterativo para o cálculo do fluxo de potência, o valor de tensão da barra da subestação é informado inicialmente e é considerado que todas as outras barras do sistema têm esse mesmo valor de tensão. Nas iterações seguintes, essa tensão será a calculada anteriormente e não mais a tensão base do sistema. A seguir são apresentadas as etapas deste processo iterativo:

1. Cálculo das correntes nas barras:

$$I_i^{(k)} = \left(\frac{S_i}{V_i^{(k-1)}} \right)^* \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (2)$$

Na equação (2), $I_i^{(k)}$ representa a corrente na barra i na iteração k do processo, S_i é a potência injetada na barra i , $V_i^{(k-1)}$ é a tensão na barra na iteração anterior e n representa o número de barras de carga do sistema.

2. Cálculo das correntes nas linhas (Varredura *Backward*):

$$J_L^{(k)} = I_{L2}^{(k)} + \sum \text{correntes que saem do nó } L2 \quad L = r, r-1, \dots, 1. \quad (3)$$

Na equação (3), r é o número de linhas existentes no processo, $J_L^{(k)}$ é a corrente na linha L e $I_{L2}^{(k)}$ é a corrente injetada no nó $L2$.

Como pode ser observado na equação acima, é utilizada a Lei de Kirchhoff para as correntes na resolução dessa segunda etapa. Outra observação importante a ser feita é que os cálculos começam do ramo mais distante da subestação, por isso essa etapa é também chamada de *Backward*, que tem como tradução 'para trás'.

3. Cálculo das tensões nas barras (Varredura *Forward*):

$$V_{L2}^{(k)} = V_{L1}^{(k)} - Z_L * J_L^{(k)} \quad L = 1, 2, \dots, r \quad (4)$$

Na equação (4), $V_{L1}^{(k)}$ é a tensão atualizada na barra $L1$, Z_L é a impedância na linha L , $J_L^{(k)}$ é a corrente na linha L calculada no passo 2 e $V_{L2}^{(k)}$ é a tensão na barra $L2$.

Para esse terceiro passo é utilizada a Lei de Kirchhoff para as tensões, além disso, os cálculos das tensões começam a ser realizados da subestação e terminam nos ramos mais distantes do sistema, por isso essa etapa é chamada de *Forward*, que tem como tradução 'para frente'.

Os passos 1, 2 e 3 continuam sendo repetidos até que a convergência seja satisfeita ou que o número máximo de iterações seja atingido, o método de convergência utilizado é a diferença entre a potência estabelecida e a calculada na barra. Essa injeção de potência é calculada da seguinte forma:

$$S_i^{(k)} = V_i^{(k)} * I_i^{(k)*} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Na equação (5), $I_i^{(k)*}$ é o valor conjugado de $I_i^{(k)}$.

Assim, o método de convergência do algoritmo pode ser calculado com as potências ativas e reativas na barra i :

$$\Delta P_i^{(k)} = \text{Re} \left[S_i^{(k)} - S_i \right] \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = \text{Im} \left[S_i^{(k)} - S_i \right] \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Quando os valores de convergência atingem a tolerância desejável, o método finaliza a busca pela solução. Em outras palavras, quando a equação (8) for obedecida, o processo encerra.

$$\Delta P_i^{(k)} \text{ e } \Delta Q_i^{(k)} \leq \text{tolerância} \quad (8)$$

Com o fluxo de potência resolvido, é possível resolver o problema com o método da sensibilidade simplificado apresentado. É possível determinar a quantidade de bancos de capacitores e em quais barras do sistema serão alocados, cumprindo o processo de alocação de bancos de capacitores para o planejamento de fluxo de potência reativa.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para verificar o desempenho do algoritmo foi considerado um sistema de 9 barras. A seguir são apresentadas as informações deste sistema teste.

O sistema teste possui 9 barras, sendo a barra 1 a subestação, que é ligada ao restante do sistema através da barra 2. Este sistema é ilustrado através da Figura 3.

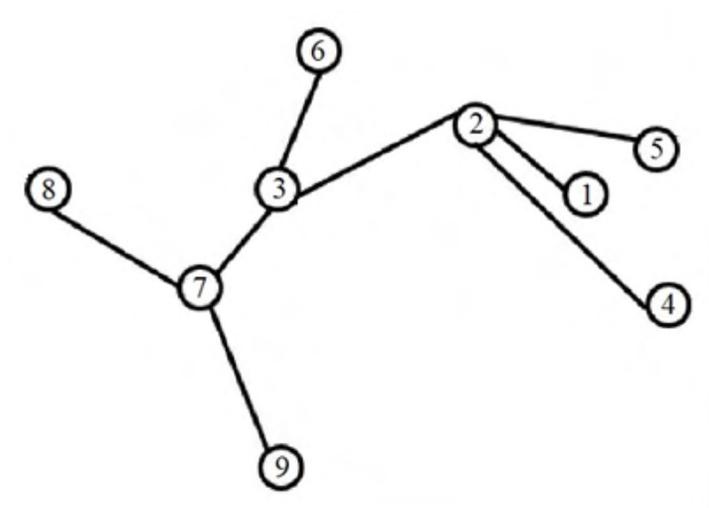


Figura 3 – Sistema teste de 9 barras.

Fonte: Próprio Autor.

Os dados das linhas do sistema teste, são ilustrados através da Tabela 1, que apresenta os tipos e a distância de cada linha do sistema.

Barra de	Barra para	Distância [km]	Tipo de linhas
1	2	0,56585	D
2	3	1,20319	C
2	4	1,63145	A
2	5	1,95238	A
3	6	2,28962	A
3	7	1,36091	B
7	8	1,79455	A
7	9	1,89994	A

Tabela 1 – Dados de distância e tipo de linhas do sistema.

Na Tabela 2, são apresentados os dados de cada tipo de linha, como resistência, impedância e capacidade de corrente.

Tipo de barra	Resistencia [Ohms/km]	Impedância [Ohms/km]	Capacidade [A]
A	0,2220	0,4020	429
B	0,1110	0,2010	858
C	0,0550	0,1005	1716
D	0,0370	0,0670	2574

Tabela 2 – Tipos de linha do sistema teste.

A subestação é considerada uma barra de geração, podendo entregar ao sistema 10 MVA. As potências ativas e reativas consumidas nas barras (carga) são apresentadas através da Tabela 3. Foi considerado que a tensão padrão do sistema é 7967,4337 V.

Barras	Potência Ativa (kW)	Potência Reativa (kVAr)
2	1313,00	551,45
3	3282,50	1076,66
4	1877,59	610,55
5	2770,43	905,97
6	2074,54	676,20
7	1588,73	518,64
8	2251,80	735,28
9	2087,67	689,33

Tabela 3 - Dados de potência nos barramentos do sistema de 9 barras.

O sistema apresentado, foi então implementado através do método da sensibilidade simplificado em GAMS (BROOKE, 1997). Esse programa exibe alguns resultados importantes impressos na tela e entre as variáveis impressas foi estabelecido: tensão mínima permitida e calculada, tensão máxima permitida e calculada e o valor de P_{min} calculado através da equação (1).

Na Tabela 4 são apresentados os valores de P_{min} , da tensão mínima e da tensão máxima calculada, da primeira iteração do programa. No contexto da solução, deve ser mencionado que a tensão mínima permitida é de 7409,714 V e a máxima de 8365,805 V.

Assim, nesta tabela é possível visualizar que a tensão máxima calculada está dentro dos padrões mas que a tensão mínima está abaixo da permitida pela ANEEL, além disso pode ser observado que os valores de P_{min} das demais iterações é menor do que no caso base. Com este resultado concluído, é possível procurar a barra mais sensível do sistema, ou seja, a barra com o menor valor de P_{min} , essa barra deve receber um banco de capacitor de 300 kVAr, assim, nessa 1ª iteração a barra que irá receber o banco é a barra 9.

Barras	Tensão Min. Calculada (V)	Tensão Max. Calculada (V)	P_{min} ($\cdot 10^3$)
Caso Base	7328,294	7967,434	1454,702
2	7329,869	7967,434	1445,301
3	7334,946	7967,434	1421,147
4	7329,891	7967,434	1434,672
5	7329,917	7967,434	1425,272
6	7335,118	7967,434	1387,205
7	7346,506	7967,434	1382,255
8	7349,888	7967,434	1344,570
9	7346,919	7967,434	1342,770

Tabela 4 - Dados obtidos na 1ª iteração do programa.

Após alocar o banco de capacitores na barra 9, é realizada uma nova iteração, pois os valores de tensão ainda não estão dentro dos valores padrões para o sistema. Os dados dessa 2ª iteração são apresentados através da Tabela 5.

Barras	Tensão Min. Calculada (V)	Tensão Max. Calculada (V)	P_{min} (*10 ³)
Caso Base	7346,919	7967,434	1342,770
2	7348,489	7967,434	1333,722
3	7353,545	7967,434	1310,689
4	7348,512	7967,434	1323,183
5	7348,537	7967,434	1313,810
6	7353,716	7967,434	1277,322
7	7365,024	7967,434	1274,149
8	7395,102	7967,434	1237,749
9	7365,226	7967,434	1239,072

Tabela 5 - Dados obtidos na 2ª iteração do programa.

De acordo com as informações da Tabela 5, o P_{min} com menor valor está na barra 8, portanto deve ser acrescentado um banco de capacitor nessa barra. Como a tensão ainda não se encontra dentro dos limites de qualidade da ANEEL, é necessário mais uma iteração. Outro fato importante que deve ser observado, é que o caso base da nova iteração sempre é o caso da barra mais sensível da iteração anterior.

Os dados da 3ª iteração podem ser observados através da Tabela 6, que apresenta a solução do presente problema. Essa foi a última iteração necessária para a busca da solução.

Barras	Tensão Min. Calculada (V)	Tensão Max. Calculada (V)	P_{min} (*10 ³)
Caso Base	7395,102	7967,434	1237,749
2	7396,661	7967,434	1229,045
3	7401,676	7967,434	1207,097
4	7396,683	7967,434	1218,593
5	7396,709	7967,434	1209,248
6	7401,845	7967,434	1174,300
7	7413,028	7967,434	1172,820
8	7417,902	7967,434	1140,401
9	7413,227	7967,434	1139,006

Tabela 6 - Dados obtidos na 3ª iteração do programa.

Como mostra a Tabela 6, o menor valor de P_{min} encontra-se na barra 9, e assim é acrescentado mais um banco de capacitores nessa barra. Porém, a tensão mínima calculada no sistema com essa situação é de 7413,227 V, sendo maior que a tensão mínima permitida no sistema, ou seja, todo o sistema já está dentro do padrão de qualidade de tensão exigido pela ANEEL, encerrando assim o processo iterativo. Assim, como resultado

final, três bancos de capacitores foram alocados no sistema, sendo dois bancos alocados na barra 9 e um na barra 8.

Foi obtido como resultado para o sistema com 9 barras, um fluxo de potência que esta ilustrado através da Figura 4, apresentado a seguir.

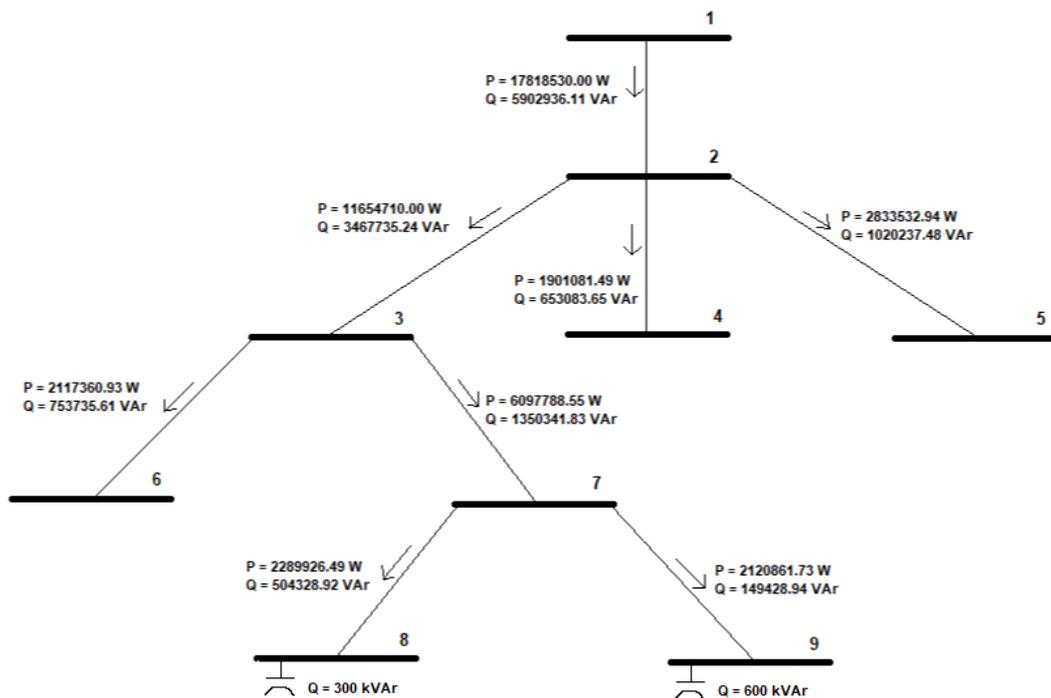


Figura 4 - Fluxos de potência ativa e reativa nas linhas do sistema de 9 barras.

Fonte: Próprio Autor.

4 | CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada uma modelagem matemática para a representação do problema de planejamento de fluxo de potência reativa. Foi usado o método da sensibilidade simplificada para definir os pontos ótimos para alocação de bancos de capacitores no sistema. Para a resolução do problema de fluxo de potência foi usado o método da varredura. A linguagem computacional empregada na implementação foi GAMS.

Com a resolução desse problema referente ao planejamento de fluxo de potência relativa, foi verificado a importância da aplicação computacional para a resolução de problemas na área de Engenharia Elétrica. Problemas reais (relacionados a esse) tendem a ser grandes e exigir um grande esforço para a resolução, sendo difícil realizá-lo de forma manual, pelo tempo enorme que levaria. A aplicação computacional torna possível muitos cálculos em um curto período, sendo uma ferramenta imprescindível para esses trabalhos.

REFERÊNCIAS

ALVES, Raiane Piacente. **Alocação Ótima de Reguladores de Tensão em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Radiais Usando uma Formulação Linear Inteira Mista**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2012.

BROOKE, A.; KENDRIK, D.; MEERAUS, A. **GAMS Sistema Geral de Modelagem Algébrica**. Rio de Janeiro: Edgar Blücher, 1997.

SEIFI, H., SEPASIAN, M. S. **Electric Power System Planning**. Londres: Editora Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.

SHIRMOHAMMADI, D., HONG, H. W., SENLYEN, A.; LUO, G. X. **A compensation-based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks**. IEEE Transactions on Power System, v. 3, n. 2, p. 753-762, 1988.

ANÁLISE DA ACELERAÇÃO LATERAL DE UM VEÍCULO EM UM SIMULADOR COM 9 GDL

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 21/05/2021

Elyton Elias Prado Naves

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Belo Horizonte - MG

Jánes Landre Júnior

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Belo Horizonte - MG

José Tomich Bosco Júnior

Stellantis
Belo Horizonte - MG

RESUMO: O uso de simuladores dinâmicos veiculares está se tornando cada vez mais comum dentre as maiores montadoras de veículos do mundo. Esses simuladores podem ter diferentes tipos de aplicações e obterem resultados para vários tipos de atividades como, por exemplo, desenvolvimento de veículos e seus componentes, treinamento de pilotos, estudos voltados para a medicina, psicologia, entre outros. Existem diferentes configurações de simuladores sendo utilizados pelas montadoras, porém, o modelo utilizado para este trabalho possui um diferencial, que é possuir 9 graus de liberdade (9 GDL). Este artigo tem o objetivo de mostrar o comportamento dinâmico lateral de um veículo simulado no SIMCenter, o Centro de Excelência em dinâmica veicular, resultado de um projeto da parceria entre a FCA e PUC Minas. A análise do comportamento dinâmico de um

veículo é realizada com o auxílio de manobras padronizadas, as quais exigem dados de entrada para se obter os dados de saída de acordo com cada necessidade. Com o intuito de analisar a dinâmica lateral, foi realizada a manobra padrão de degrau de esterçamento (*step steering*). Nela, o sinal de entrada dado pelo piloto é equivalente a um sinal do tipo degrau (*step input*). De acordo com a norma ISO 7401 (*Road vehicles - Lateral transient response test methods - Open-loop test methods*), para efetuar a manobra é preciso que o carro esteja a uma velocidade de 100 km/h, em quarta marcha e em linha reta, além disso não deve haver mudanças na posição do pedal do acelerador. Após 3 segundos, o piloto deve aplicar um ângulo de volante, predeterminado, de maneira rápida e manter o volante esterçado por 3 segundos aproximadamente. Passado esse tempo, deve-se soltar o volante e deixar que o veículo se realinhe livremente, sem intervenção do piloto. As amplitudes do ângulo de volante podem partir de 10 graus e serem incrementadas com um passo de 5 graus. No presente trabalho a amplitude do ângulo de volante escolhida para executar a manobra *step steering* foi de 20 graus. Essa manobra foi executada em um simulador de 9 GDL. Os resultados obtidos mostraram bastante fidedignos ao esperado, apontando que os softwares computacionais têm potencial para simular situações que demandariam um dispêndio adicional em aplicações físicas. Os resultados simulados em bancada – no próprio SIMCenter – mostram a diferença existente na magnitude da aceleração lateral da plataforma. Isso se dá devido à alteração nos ganhos e nos filtros de frequência utilizados para fazer com

que os movimentos sentidos pelo usuário do simulador se aproximem de uma sensação em um veículo real, o que é chamado de *motion cueing*.

PALAVRAS-CHAVE: *Simulador; 9GDL; SIMCenter; Motion Cueing; FCA; Dinâmica.*

ANALYSIS OF THE LATERAL ACCELERATION OF A VEHICLE IN A 9 DOF DRIVING SIMULATOR

ABSTRACT: Driving simulators are becoming common among the OEMs. These simulators have different types of applications and obtain results for various types of activities such as the development of vehicles and their components, training for drivers, studies focused on medicine, psychology, among others. There are different configurations of simulators being used by the automakers, however, the model used for this work has a differential, which is 9 degrees of freedom (9 DOF). This article aims to show the lateral dynamic behavior of a simulated vehicle in SIMCenter, the Center of Excellence in vehicle dynamics, the result of a partnership project between FCA and PUC Minas. The analysis of the dynamic behavior of a vehicle is performed with the aid of standardized maneuvers, which require input data to obtain the output data according to each need. In order to analyze the lateral dynamics, the standard step steering maneuver was performed, in which the input signal given by the pilot is equivalent to a step input signal. According to ISO 7401 (Road vehicles - Lateral transient response test methods), to perform the maneuver it is necessary that the car is at a speed of 100 km / h, in fourth gear and in a straight line, in addition there should not be any change on throttle pedal. After 3 seconds, the pilot must apply a predetermined steering wheel angle quickly and keep the steering wheel steady for approximately 3 seconds. After that time the steering wheel must be released and let the vehicle realign freely. The amplitudes of the steering angle can start from 10 degrees and be incremented by a step of 5. In the present work the amplitude of the steering wheel angle chosen to execute the step steering maneuver was 20 degrees. This maneuver was performed in an actual vehicle, in a virtual model and in the 9 DOF simulator. The results obtained between the real vehicle and the virtual model were very close, pointing out that the computer software has the potential to simulate situations that would demand an additional expenditure in physical applications. The simulated benchtop results - in SIMCenter itself - show the difference in the magnitude of the lateral acceleration of the platform. This is due to the change in gain and frequency filters used to make the user's movements of the simulator approach a sensation in an actual vehicle, which is called motion cueing.

KEYWORDS: *Simulator; 9DOF; SIMCenter; Motion Cueing; FCA; Dynamics.*

1 | INTRODUÇÃO

Graças ao investimento movido pelo avanço da tecnologia, novos projetos e modernizações vão surgindo em prol do desenvolvimento de novos produtos. Com isso, o uso de simuladores dinâmicos veiculares tem se tornado cada vez mais comum dentre as montadoras automotivas mundiais. Esses simuladores podem ter diferentes tipos de aplicações e obterem resultados para vários tipos de atividades como, por exemplo,

desenvolvimento de veículos e seus componentes, treinamento de pilotos, estudos voltados para a medicina, psicologia, entre outros.

Depois de um longo período de estudo sobre a viabilidade de novos projetos entre a indústria e a universidade, foi firmada uma parceria entre a PUC Minas – a qual possui vasta experiência no âmbito acadêmico em pesquisas relacionadas a área automotiva – e a FCA (Fiat Chrysler Automobiles) dando origem ao SIMCenter, o Centro de Excelência em dinâmica veicular. O qual é composto por um simulador dinâmico veicular. Existem diferentes configurações de simuladores sendo utilizados pelas montadoras, porém, o modelo utilizado nesta pesquisa possui um diferencial: ter 9 graus de liberdade.

A parte estrutural do simulador é composta por um *hexapod* (6 atuadores lineares), que realiza os movimentos de rolagem, arfagem e translação vertical, sobre uma base móvel onde atua um *tripod* (3 atuadores lineares), responsável pelos movimentos de guinada e translações no plano do solo. Essa combinação resulta em uma plataforma com 9 graus de liberdade. O *hexapod* é responsável pelos movimentos de alta frequência e baixa amplitude. Já o *tripod* atua mais nos movimentos de baixa frequência e amplitudes mais altas. A figura 1 mostra um esquema da estrutura da plataforma utilizada no simulador.

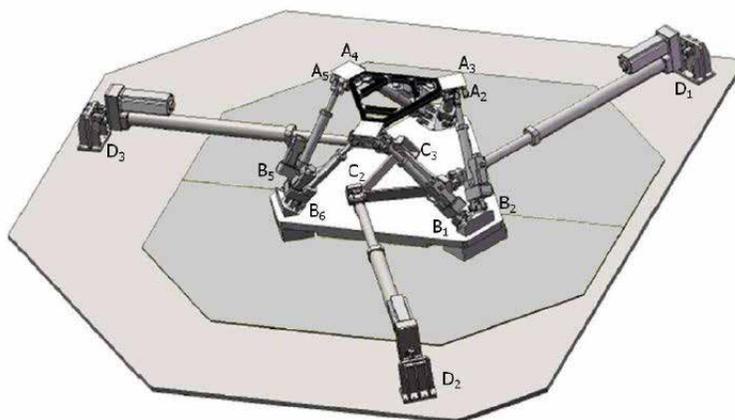


Figura 1 - Esquema da estrutura mecânica do simulador. A, B, C e D são as posições das juntas de cada atuador.

Fonte: (Beghi, Bruschetta e Maran, 2014).

Além da estrutura responsável pelos movimentos da plataforma, o simulador também possui um *cockpit* adaptado e instrumentado para que haja troca de informações entre o software e o hardware, onde é possível utilizar a própria arquitetura elétrica do veículo real para se obter alguns dados de entrada que são provocados pelo piloto como, por exemplo, direção, aceleração, freio, entre outros. Para tornar o ambiente mais realístico, o *cockpit* é a própria carroceria do veículo com algumas adaptações para reduzir peso

e conseqüentemente tornar o movimento da plataforma menos dificultoso. Além disso, componentes que não afetam em nenhuma análise dinâmica do veículo em um simulador são considerados desnecessários e removidos, como, por exemplo, as rodas e motor. O fato de ter ou não as rodas físicas presentes na estrutura da carroceria/chassi, não interfere nas análises do simulador, uma vez que todas as suas configurações já estão incluídas no modelo virtual em simulação.

O simulador possui uma tela curva onde é projetado a parte gráfica do simulador, ou seja, o ambiente onde o veículo se encontra – seja uma pista, uma estrada ou uma cidade. Essa tela possui um ângulo de 230 graus para cobrir todo o campo de visão do condutor, pois um dos desafios de um simulador é fazer com que o usuário perceba o mínimo possível que está em um ambiente de simulação. Para isso, os retrovisores possuem telas que simulam a imagem que seria vista em um retrovisor real situado no local simulado. Ainda há limitações físicas e espaciais, portanto para que a sensação (ou percepção) do movimento, chamada de *motion cueing*, transmita ao usuário as acelerações que ele sentiria em um veículo real, é preciso realizar análises da dinâmica veicular do modelo e comparar com os parâmetros responsáveis por alterar os ganhos e as frequências dos movimentos que a plataforma é capaz de realizar.

A proposta deste artigo é mostrar o comportamento dinâmico lateral de um veículo simulado no SIMCenter, o Centro de Excelência em dinâmica veicular, resultado de um projeto da parceria entre a FCA e PUC Minas. A análise do comportamento dinâmico de um veículo é realizada com o auxílio de manobras padronizadas, as quais exigem dados de entrada para se obter os dados de saída de acordo com cada necessidade. Com o intuito de analisar a dinâmica lateral, foi realizada a manobra padrão de degrau de esterçamento (*step steering*).

2 | METODOLOGIA

A análise do comportamento dinâmico de um veículo é realizada com o auxílio de manobras padronizadas, as quais exigem dados de entrada para se obter os dados de saída de acordo com cada necessidade. Por exemplo, em uma mesma manobra é possível obter diversas respostas variando-se a entrada, e isso depende de qual parâmetro deseje-se avaliar.

Com o intuito de analisar a dinâmica lateral, foi realizada a manobra degrau de esterçamento (*step steering*). Nela o sinal de entrada dado pelo piloto é equivalente a um sinal do tipo degrau (*step input*). O objetivo da manobra *step steering* é determinar o comportamento da resposta transiente do veículo avaliando as características de resposta ao controle, a estabilidade, o movimento da carroceria e a qualidade do realinhamento do volante de direção (CRF, 2007). De acordo com a norma ISO 7401 (*Road vehicles - Lateral transient response test methods - Open-loop test methods*), para efetuar a manobra

é preciso que o carro esteja a uma velocidade de 100 km/h, em quarta marcha e em linha reta, além disso não deve haver mudanças na posição do pedal do acelerador. Após 3 segundos, o piloto deve aplicar um ângulo de volante, predeterminado, de maneira rápida e manter o volante esterçado por 3 segundos aproximadamente. Passado esse tempo, deve-se soltar o volante e deixar que o veículo se realinhe livremente, sem intervenção do piloto. As amplitudes do ângulo de volante podem partir de 10° e serem incrementadas com um passo de 5° . No presente trabalho a amplitude do ângulo de volante escolhida para executar a manobra *step steering* foi de 60 graus.

Foi utilizado um *software* que controla a plataforma, chamado VI-DriveSim. Através dele é possível alterar as configurações do simulador e dos parâmetros que regem seu comportamento, como o *motion cueing*, a parte gráfica da simulação, o sinte de segurança dinâmico (que altera a sensação de aceleração longitudinal), o torque no volante de direção, entre outros. O VI-DriveSim é responsável por fazer com que a plataforma do simulador realize os movimentos – requeridos pelo piloto – de acordo com o comportamento dinâmico do modelo que está sendo simulado. As configurações e parâmetros ajustáveis existentes nele, são para determinar a fidelidade da simulação com relação ao ambiente real. Através desse software é possível realizar uma simulação virtual dos movimentos da plataforma para que, antes de coloca-la em operação, seja assegurado que os movimentos estejam dentro do espaço de trabalho disponível e que o equipamento não atinja seus limites de fim de curso. A figura 2 mostra a interface do software VI-DriveSim ao simular a plataforma virtual.

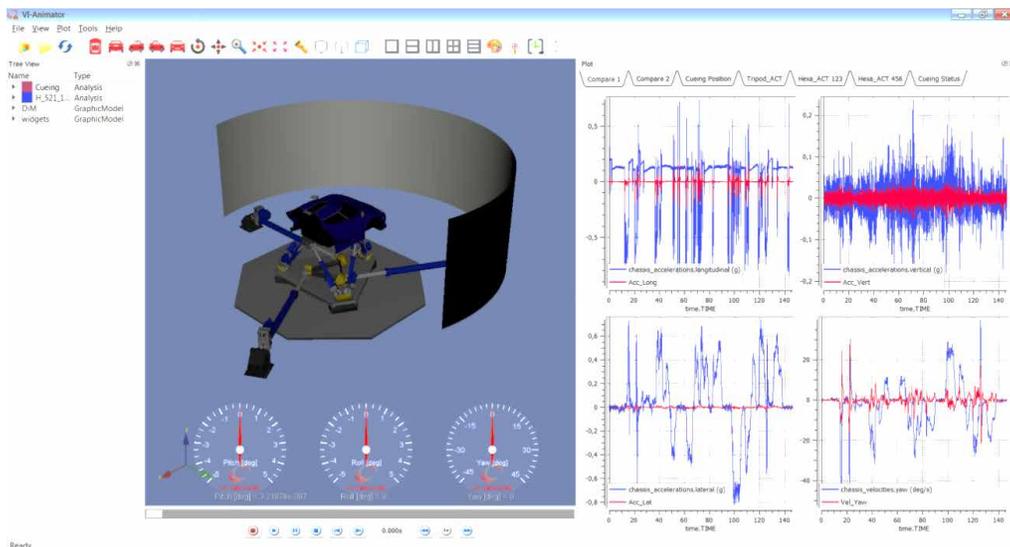


Figura 2 - Interface de simulação da plataforma virtual.

Fonte: (*Software VI-DriveSim*, 2021).

Durante a simulação da plataforma virtual é possível acompanhar o comportamento de cada variável dinâmica do veículo e também do simulador, onde todos os dados computados são gravados em um arquivo e podem ser posteriormente pós-processados e comparados.

Ao realizar a simulação utilizando a plataforma, é possível acompanhar as respostas do veículo a cada manobra realizada pelo piloto em tempo real através do *software WinTAX4*. Todas as variáveis dinâmicas podem ser exportadas em arquivo para análises posteriores.

Ao iniciar a simulação fazendo o uso da plataforma, o usuário foi inserido em um campo de prova virtual, onde pôde ser realizado qualquer tipo de manobra desejada. Antes de realizar a manobra proposta para este trabalho, fez-se necessário que o piloto se acostumasse com o ambiente de simulação e também que fizesse uma verificação se os movimentos da plataforma estavam condizentes com o veículo real. Isso foi feito apenas com a execução de manobras aleatórias capazes de fornecer ao usuário sensações que confirmassem a veracidade dos movimentos.

Após verificado os movimentos da plataforma, iniciou-se os testes com a manobra padrão *step steering* com um ângulo de volante igual a 60° . Essa mesma manobra foi realizada 3 vezes para este trabalho com o intuito de validar as respostas.

Foi destacado também a aceleração lateral presente na plataforma do simulador, pois ela mostra como a aceleração do modelo virtual do veículo está sendo representada.

3 | RESULTADOS

Após as 3 execuções da manobra padrão proposta para este trabalho, os dados coletados foram pós-processados para verificar qual o comportamento lateral do veículo através da análise da aceleração.

A figura 3 mostra como se deu a aceleração lateral no veículo e na plataforma para a primeira execução da manobra.

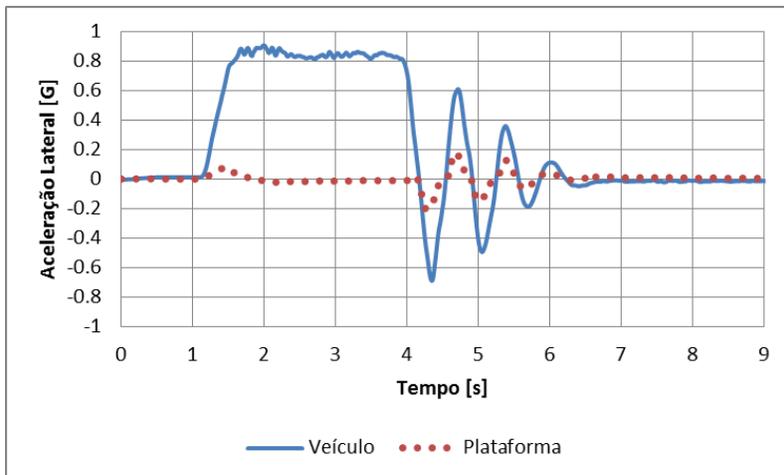


Figura 3 – Aceleração Lateral – primeira execução.

Fonte: (Autor, 2021).

Observa-se que, ao impor um ângulo de volante igual a 60° a uma velocidade de 100km/h, isso provoca uma aceleração lateral no CG do veículo igual a 0,89G, enquanto na plataforma aparece 0,081G. Isso ocorre devido ao espaço limitado da plataforma e, para poder transmitir uma sensação mais próxima do real, ela utiliza estratégias de *motion cueing*. Uma dessas estratégias é o *tilt coordination*, que faz com que haja uma pequena inclinação na plataforma capaz de fazer o usuário sentir uma aceleração linear, desde que a velocidade de inclinação ocorra dentro de uma faixa de 2 a 4°/seg e a aceleração angular dentro da faixa de 0,2 a 0,4°/seg² (Groen e Bles, 2004). Outro ponto importante é a magnitude da aceleração no ato em que o piloto solta o volante para que o veículo se realinhe livremente, a qual chega a 0,69G e tende a atenuar em seguida para 0,61G, passando por 0,36G e tendo sua última oscilação (antes de se estabilizar) a 0,11G.

A figura 4 aponta o comportamento da aceleração na segunda execução da manobra.

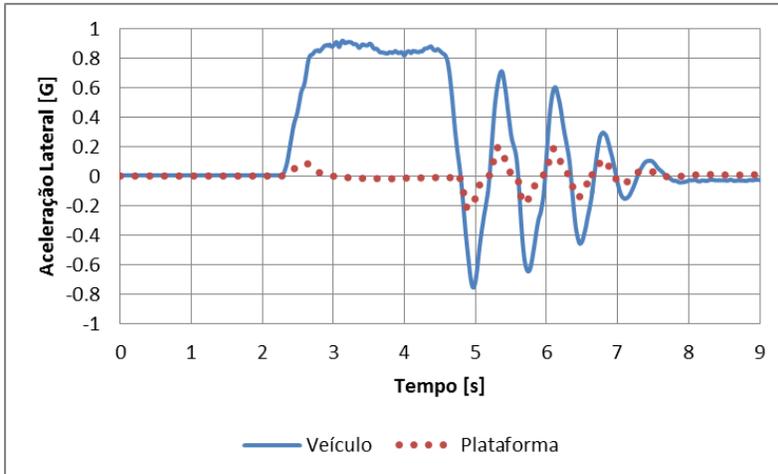


Figura 4 - Aceleração Lateral – segunda execução.

Fonte: (Autor, 2021).

Já na segunda execução houve um pico de 0,91G de aceleração lateral no veículo e 0,079G na plataforma. No realinhamento do veículo ocorreu mais oscilações do que na manobra anterior e com valores maiores de aceleração, onde o pico para o realinhamento foi de 0,75G. Isso pode ocorrer devido à possível diferença na velocidade de esterçamento que o piloto provocou no volante do veículo, pois ao girar o volante mais rapidamente, há um ganho de aceleração lateral.

Na figura 5 é possível observar a aceleração lateral no veículo e na plataforma para a terceira e última execução da manobra.

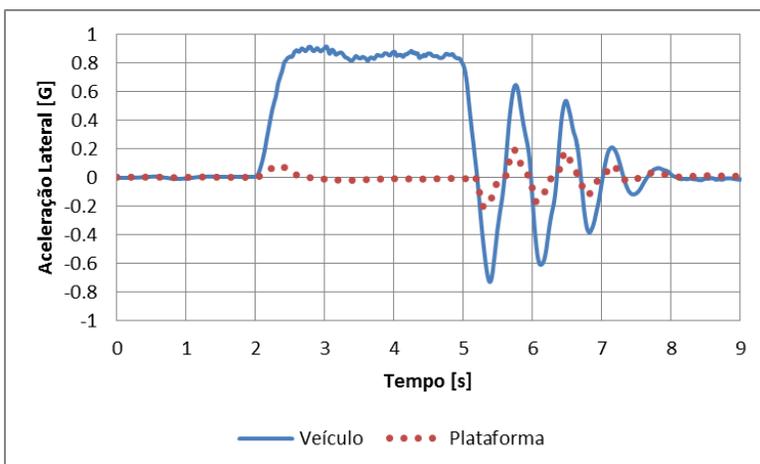


Figura 5 - Aceleração Lateral – terceira execução.

Fonte: (Autor, 2021).

Nota-se que o comportamento da última manobra se assemelha ao da segunda. Seu pico de aceleração lateral no veículo foi de 0,91G, assim como no anterior. Já para a plataforma, seu comportamento foi similar ao da primeira execução, onde o pico de aceleração lateral foi de 0,081G, porém as oscilações durante o realinhamento foram maiores. O pico de aceleração no realinhamento foi de 0,73G.

4 | CONCLUSÃO

De posse dos resultados obtidos, conclui-se que o simulador veicular com 9 graus de liberdade é uma ferramenta com grande potencial de contribuir para o desenvolvimento tecnológico dentro da indústria, da universidade e do país. Com os resultados apresentados é possível afirmar que o simulador tem a capacidade de substituir alguns testes realizados em protótipos na fase de projeto de determinado produto.

As oscilações durante o realinhamento do veículo se mostraram diferentes de como acontecem no modelo virtual. Vários fatores externos podem ter acarretado nesse comportamento, um deles – e o principal – está relacionado ao atuador responsável por transmitir o torque e a sensação de direção para o volante. Algumas limitações do atuador da direção impedem um comportamento fiel ao modelo do veículo (tal assunto ainda está sendo estudado para aperfeiçoar as respostas retroativas do sistema de direção).

Os resultados simulados no SIMCenter mostram a diferença existente na magnitude da aceleração lateral da plataforma. Isso se dá devido à alteração nos ganhos e nos filtros de frequência utilizados para fazer com que os movimentos sentidos pelo usuário do simulador se aproximem de uma sensação em um veículo real, o que é chamado de *motion cueing*.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, à Fiat Chrysler Automobiles e ao governo brasileiro pela criação do projeto Inovar Auto, que foi de onde surgiu o programa de Residência Tecnológica para Engenheiros.

REFERÊNCIAS

BRUSCHETTA, Mattia; MARAN, Fabio; BEGHI, Alessandro. **A non-linear mpc based motion cueing implementation for a 9 dofs dynamic simulator platform**. 53rd IEEE Conference On Decision And Control, California, p. 2517-2522, dez. 2014.

GILLESPIE, Thomas D. **Fundamentals of Vehicle Dynamics**. Society of Automotive Engineers, Inc., 1992, 1st edition.

GROEN, E.I.; BLES, W. **How to use body tilt for the simulation of linear self motion**. Journal of Vestibular Research, Soesterberg, v. 14, p. 375-385, jun. 2004.

JAZAR, Reza N.. **Vehicle Dynamics: Theory and Application**. Riverdale: Springer, 2008, 1015 p..

MARAN, Fabio. **Model-based control techniques for automotive applications**. Itália: Universidade de Padova, 2013. 164 p.

MILIKEN, William F., MILIKEN, Douglas L. **Race car vehicle dynamics**. Warrendale: SAE International, 1995, 890 p.

MILLIKEN, William F.; MILLIKEN, Douglas L. **Chassis Design: Principles and Analysis**. 1. ed. Society Of Automotive Engineers, 2002. 638 p.

ADEQUAÇÃO DE TRELIÇA EM AÇO FRENTE A UMA NOVA FINALIDADE

Data de aceite: 02/08/2021

Gustavo de Oliveira Daumas

Instituto Tecnológico da Aeronáutica, Brasil

José Geraldo de Araújo Silva

Engenheiro Civil, Metalcon, Brasil

Lucas Teixeira Araújo

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Antônio Maria Claret de Gouveia

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Hisashi Inoue

Universidade Federal de São João Del Rei,
Brasil

André Luiz Candian

Engenheiro Civil, Faculdade Única, Brasil

RESUMO: Durante a existência de uma edificação/estrutura é normal que, devido a alterações normativas e/ou necessidades de produção e de utilização, que a mesma seja modificada para atender aos esforços oriundos das novas cargas. Isto não quer dizer que ocorreria erro de projeto, fabricação ou montagem, mas sim que a estrutura esteja apenas sendo adequada a uma nova condição, sendo portanto necessária a realização de novo dimensionamento, elaboração de projeto de reforço e colocação dos novos elementos estruturais. Para os casos em que a necessidade de aumento de carga seja pequena, estando abaixo dos fatores normativos, é aceitável, dependendo da experiência e acurácia do calculista/fabricante que não sejam

feitos reforços, mas via de regra, esta não é a praxe. De uma maneira geral os responsáveis pelos processos de reforço/adequação estrutural devem ter expertise suficiente para discernir até a que ponto podem chegar sem colocar em risco a segurança estrutural, quer seja pela utilização ou pelo serviço. Este trabalho apresenta todo o processo de adequação de uma treliça metálica estaiada, utilizada como pipe rack, tendo dois balanços atirantados e um vão central, também atirantado, assemelhando-se à famosa ponte do Brooklin em Nova York. Após a ocorrência de um sinistro (queda de uma árvore durante uma ventania, que veio a colapsar a estrutura em seu vão central) optou-se por alterar a localização e tipologia estrutural do novo pipe rack (aproveitando parte da estrutura colapsada), passando o mesmo a ser em treliça isostática. Esta ação alterou sobremaneira os esforços atuantes na estrutura, sendo necessário propor diversos reforços e trocar algumas peças para que a treliça ficasse simétrica.

PALAVRAS-CHAVE: Sinistro estrutural, Reforço estrutural, Treliça metálica, Treliça atirantada, Estrutura atirantada.

ABSTRACT: During the existence of a building/structure, it is normal that, due to regulatory changes and/or production and use needs, it is modified to meet the efforts arising from the new loads. This does not mean that there will be an error in the design, fabrication or assembly, but that the structure is just being adapted to a new condition, being therefore necessary to carry out a new dimensioning, elaboration of the reinforcement project and placement of new

structural elements. For cases where the need to increase the load is small, being below the normative factors, it is acceptable, depending on the experience and accuracy of the structural engineer/manufacturer, that no reinforcements are made, but as a rule, this is not the practice. In general, those responsible for structural reinforcement/adaptation processes must have sufficient expertise to discern how far they can go without jeopardizing structural safety, whether through use or service. This work presents the entire process of adapting a cable-stayed metallic truss, used as a pipe rack, having two trussed overhangs and a central span, also trussed, similar to the famous Brooklyn Bridge in New York. After the occurrence of an accident (a tree fell during a wind, which collapsed the structure in its central span), it was decided to change the location and structural typology of the new pipe rack (taking advantage of part of the collapsed structure), passing the even to be in isostatic truss. This action greatly changed the efforts acting on the structure, making it necessary to propose several reinforcements and change some parts so that the truss was symmetrical.

KEYWORDS: Structural damage, Structural reinforcement, Metal truss, Tensioned truss, Tensioned structure.

1 | INTRODUÇÃO

Por mais estranho que possa parecer, toda e qualquer estrutura, quer seja uma edificação simples, ponte ou cobertura metálica, deve ser tratada como um ser vivo, pois durante a “sua vida” ela sofre com as intempéries (sol, chuva e vento) e com as cargas de utilização, sendo necessária a realização de intervenções (corretivas ou não) visando a manutenção das características originais da estrutura, a fim de que ela possa continuar exercendo a função para qual fora projetada e construída.

Da concepção até a utilização, passando pela execução, alterações de finalidade, patologias ou *as built*, todas as fases merecem atenção para que nenhuma não conformidade e/ou desvio passem despercebidos, pois isto poderá gerar graves problemas no futuro.

Algo muito importante e que por vezes não é considerado é a localização de uma estrutura/edificação, ou seja, como está o entorno da futura obra, pois dependendo da condição, problemas poderão surgir, quer seja pelo deslizamento de encostas, enchentes ou afunilamento de vento.

A elaboração de um manual de uso da estrutura juntamente com um memorial descritivo é de suma importância para que, durante a existência da mesma, todas as intervenções que se façam necessárias sejam realizadas dentro de uma conceituação lógica e coerente, a fim de que não ocorram efeitos indesejados e/ou o que devia ser um reparo, torne-se um novo problema.

Na iminência da ocorrência de um problema ou mesmo quando este já estiver ocorrido, para que se obtenha uma melhor performance na intervenção é imperativo que esta seja realizada o quanto antes, pois quando se intervêm de imediato, as possibilidades de sucesso são enormes. As razões para tal é que neste caso tem-se mais tempo para procurar soluções; o problema pode ainda estar no início e as cobranças pela volta à

normalidade ainda não estão em nível estressante.

A estrutura inicial era constituída de uma treliça 3d, estaiada, utilizada para travessia de um rio, tendo tubulações de produto químico em sua parte inferior e superior (3 tubos em PEAD com diâmetro de 500mm). Os pilares para suporte dos tirantes eram em concreto armado.

As dimensões da estrutura são:

Comprimento total: 130 metros

Balanço à esquerda: 20m

Vão central: 90m

Balanço à direita: 20m

Altura: 3.50m

Largura: 3.00m

Modulação: 5.00m

Banzos: perfil dobrado a frio 250x75x6.3x25, em aço USI-SAC41 (de projeto)

Montantes e diagonais: perfil dobrado a frio 100x50x3.00x20, em aço USI-SAC41 (de projeto)

As Figuras 1 e 2 apresentam a vista lateral e o corte transversal da estrutura.

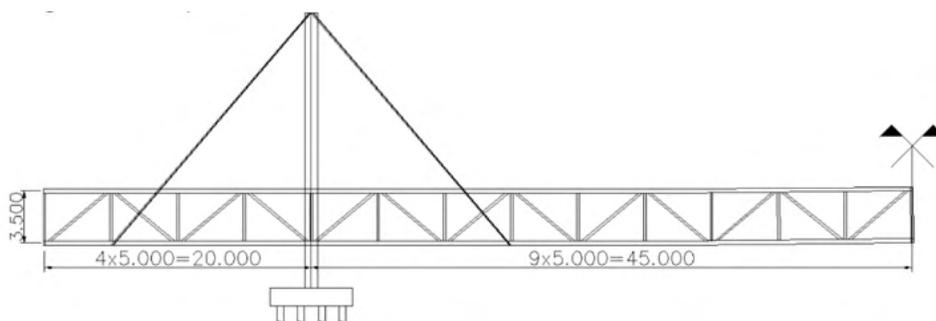


Figura 1 – Meia vista da estrutura existente.

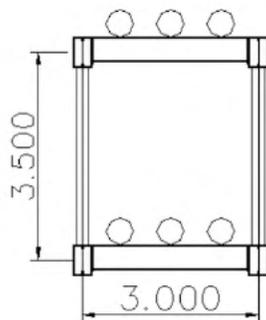


Figura 2 – Corte transversal da treliça.

2.1 APURAÇÃO DAS CAUSAS DO SINISTRO

As fortes chuvas seguidas de vento que ocorreram no interior de São Paulo no ano de 2019, fizeram com que a estrutura ruísse. Porém, as causas primárias do desabamento deveriam ser diagnosticadas, para que não mais se caísse no mesmo erro. Desta forma procurou-se investigar as causas, adotando a seguinte metodologia:

- Pesquisa documental, onde seriam estudados os projetos existentes e confrontados com a estrutura *in loco*.
- Pesquisa documental, visando encontrar as possíveis intervenções realizadas na estrutura, através de relatórios de manutenção e relatórios fotográficos
- Levantamentos de campo, observando as condições da estrutura e o entorno da mesma

2.1 Pesquisa documental

A pesquisa documental obteve grande êxito, pois foram encontrados todos os projetos estruturais relativos à obra (fundação e estrutura metálica), com uma boa qualidade de detalhes, onde todos os itens constantes na estrutura estavam presentes. Infelizmente não se pode dizer o mesmo acerca da opção estrutural adotada, pois esta não era a melhor para o ambiente onde se encontrava instalada a treliça (área industrial altamente agressiva).

Quanto à parte da documentação relativa às intervenções, nada fora fornecido e foi informado que desde a entrega da obra (há 20 anos) nada se faz, nem mesmo uma verificação do surgimento de algum possível ponto de corrosão e/ou alguma patologia de utilização.

2.2 Levantamentos de campo

Com as informações contidas nos projetos, mesmo com a estrutura sinistrada, pôde-se observar em campo as nuances e os detalhes estruturais, estando estes, em parte, de

acordo com o que fora proposto pelo projeto. Muitas das peças apresentavam avançado estado de corrosão, sendo que em alguns pontos, havia corrosão generalizada, ficando parte da peça cortada. Quanto ao entorno o mesmo estava alterado devido à queda de diversas árvores sobre a estrutura e à presença de voçorocas que deixaram a mostra as estacas de um dos lados da ponte.

Após as primeiras análises, pôde-se afirmar com certeza de que a ruína teve as seguintes causas:

- Ausência de manutenção na estrutura
- Ausência de manutenção no entorno da ponte
- Material utilizado não condizente com o especificado no projeto
- Erros de fabricação e montagem.



Figura 3 – Vista de parte da estrutura, com diversas regiões em avançado estado de corrosão.



Figura 4 – À esquerda detalhe de peça onde ocorreu corrosão na solda. Observa-se a baixa qualidade da solda e ausência de acabamento. À direita parafusos de ligação em avançado estado de corrosão.

3 I PROPOSTA DE REUTILIZAÇÃO ESTRUTURAL

Como boa parte das peças apresentava bom estado de conservação, foi proposto a utilização das peças como uma treliça isostática, alocada em um local onde o canal do rio tivesse menor largura e que as influências externas (árvores e agressividade ambiental) fosse de menor monta, de forma a impedir que um novo sinistro ocorresse. Optou-se pelo comprimento de 60m, como mostrado pela Figura 5.

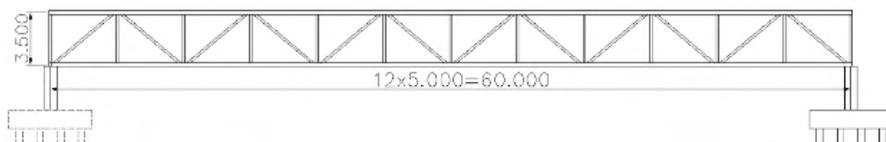


Figura 5 – Vista da nova estrutura, sem balanços, tirantes e com apenas o vão central.

De posse da necessidade da indústria (três tubos na parte superior e três tubos na parte inferior), das cargas de vento obtidas através da NBR 6123 (1) e de alguma carga para manutenção, partiu-se para o cálculo e detalhamento da nova estrutura. Para peças em perfis leves (dobrados a frio) utilizou-se a NBR14623 (2) e para os reforços em cantoneira e chapa grossa, NBR8800 (3).

Escolheram-se as melhores peças e através da engenharia reversa ficou patente a necessidade da colocação de reforços e, em alguns casos, troca das peças. Onde era necessária o aumento de área de aço, colocou-se uma chapa soldada na alma do perfil e onde poderia haver troca de sentido dos esforços, por segurança fora colocada uma nova diagonal, ficando assim o sistema composto por uma peça em “X”.



Figura 6 – À esquerda vista de um reforço em chapa grossa soldado à alma do perfil dobrado a frio. À direita, para diminuição do trabalho e aumento da segurança, foi colocado (próximo aos apoios) diagonais em “X”.

4 | CONCLUSÕES

Este estudo de caso permite afirmar que:

- Assim como os seres vivos, toda e qualquer edificação ou estrutura, deve ter a sua história registrada, pois em caso de algum acidente, se necessário realizar alguma intervenção, esta será mais fácil e mais econômica;
- As estruturas têm que ser projetadas e construídas considerando o entorno das mesmas, verificando o tipo de ambiente em que a mesma será inserida e se existe a possibilidade da ocorrência de algum sinistro, quer seja provocado ou oriundo das forças da natureza;
- A reutilização de uma estrutura é viável, desde que a estrutura existente seja analisada com muito critério e que a proposta de reutilização seja bem estudada e levada a cabo com equipe capacitada e experiente;
- Independente da condição, toda e qualquer estrutura necessita de manutenção periódica, pois imprevistos podem acontecer sem prévio aviso.
- A fiscalização participativa deve ser uma constante, quer seja na fase de projeto, fabricação e montagem da estrutura metálica, não cessando após a entrega da obra.

REFERÊNCIAS

[1] NBR 6123:1.988 – Cargas devidas ao vento em edificações. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1.988. Rio de Janeiro.

[2] NBR 14762:2.010 - Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio

[3] NBR 8800:2.008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, 2.008. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1.988. Rio de Janeiro.

PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS NA REGIÃO DO MACIÇO DE BATURITÉ, CEARÁ, BRASIL

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 04/06/2021

Juan Carlos Alvarado Alcócer

Professor, Doutor do Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis (MASTS), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro Brasileira (UNILAB) Redenção, Ceará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8172187725052094>

Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto

Doutora, Bolsista do Programa Nacional de Pós-Doutorados (PNPD) /CAPES, Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis (MASTS), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) Redenção, Ceará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/8216617581480616>

Ciro de Miranda Pinto

Professor, Doutor do Instituto de Desenvolvimento Rural (IDR), Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) Redenção, Ceará, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9951861341852271>

RESUMO: O trabalho aborda a importância do biogás e verifica a eficiência de filtros para o H₂S em pequenas propriedades rurais na região do Maciço de Baturité, Ceará, Brasil. O biogás é um biocombustível cuja utilização vem crescendo

nas últimas décadas como alternativa sustentável que contribui para mitigação dos problemas ambientais. O biogás é formado por metano (CH₄), sulfeto de hidrogênio (H₂S), oxigênio (O₂), amônia (NH₃) e dióxido de carbono (CO₂). O metano é o principal componente responsável pela combustão do gás, contudo, a presença dos demais gases pode prejudicar a ação do mesmo, reduzindo seu potencial energético e ainda danificar os equipamentos, reduzindo assim a vida útil dos mesmos. Nesse sentido, se faz necessária a purificação do biogás, a qual consiste na retirada das substâncias contaminantes do composto gasoso, tais como água, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio, dentre outros. Existem diversos métodos de purificação do biogás tais como: sistema de filtros de adsorção e absorção, com utilização de sílica gel, palha de aço, carvão ativado, dentre outros. A purificação do biogás é de extrema relevância contribuindo para evitar danos nos equipamentos de queima, elevar o poder calorífico e o rendimento do biogás, além de diminuir os impactos ambientais pela liberação desses gases à atmosfera.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração. Biocombustível. Metano. Biodigestor.

ABSTRACT: The work addresses the importance of biogas and verifies the efficiency of filters for H₂S in small rural properties in the Maciço de Baturité region, Ceará, Brazil. Biogas is a biofuel whose use has been growing in recent decades as a sustainable alternative that contributes to the mitigation of environmental problems. Biogas is formed by methane (CH₄), hydrogen sulfide (H₂S), oxygen (O₂), ammonia (NH₃) and carbon

dioxide (CO₂). Methane is the main component responsible for gas combustion, however, the presence of other gases can impair its action, reducing its energy potential and even damage equipment, thus reducing their useful life. In this sense, it is necessary to purify the biogas, which consists in the removal of contaminating substances from the gaseous compound, such as water, carbon dioxide, hydrogen sulfide, among others. There are several methods of biogas purification, such as: adsorption and absorption filter system, using silica gel, steel wool, activated carbon, among others. The purification of biogas is extremely important, contributing to prevent damage to burning equipment, increase the calorific value and yield of biogas, in addition to reducing the environmental impacts caused by the release of these gases into the atmosphere.

KEYWORDS: Filtration. Biofuel. Methane. Biodigester.

1 | INTRODUÇÃO

As energias renováveis são fontes de energia que são geradas a partir de processos e recursos naturais que são continuamente reabastecidos em uma escala de tempo. Isso inclui a energia solar, calor geotérmica, energia eólica, energia das marés, energia hídrica (água), e várias formas de bioenergia (biomassa). A biomassa pode ser usada para produzir eletricidade ou como combustível para o transporte e para fabricar produtos que normalmente exigiriam o uso de combustíveis fósseis não renováveis (SOLAR, 2021).

As fontes alternativas de energias tem se intensificado em todo planeta, a busca constante de alternativas para diminuir a poluição ambiental utilizando-se de fontes poluidoras tais como: os dejetos de animais e vegetais que são fartos nas propriedades rurais têm se tornado um norte para as pesquisas no intuito proteger o meio ambiente das poluições e melhorar a qualidade de vida dos camponeses com os benefícios obtidos pelo o beneficiamento dos dejetos (GONÇALVES et al., 2009).

A produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de diferentes tipos de esterco dos animais de produção e dos vegetais, já foi propósito de diversas pesquisas científicas, cujos resultados positivos são inegáveis. Em escala regional, no Maciço do Baturité, tem-se conhecimento de biodigestores instalados nos municípios de Barreira, Redenção e Ocara (OLIVEIRA et al., 2016). Entretanto, o biogás gerado na fermentação anaeróbia dos dejetos contém alguns contaminantes, sendo que o enxofre na forma de sulfeto de hidrogênio (H₂S) é considerado o mais prejudicial (MACHADO et al., 2015) por limitar o uso do biogás (OLIVEIRA, 2004).

A utilização do biogás como tecnologia da biodigestão anaeróbia tem sido comprovada como uma das mais eficientes no tratamento dos dejetos de animais. Os dejetos que os animais deixam nas pequenas e médias propriedades rurais são extremamente prejudiciais ao meio ambiente, lançam um gás que provoca o efeito estufa que afeta a ozônio e o solo, através de infiltração no lençol freático, por meio das chuvas que chegam aos igarapés contaminando também as águas (GONÇALVES et al., 2009).

Nesse contexto, o capítulo teve como objetivo abordar a importância do biogás e

verificar a eficiência de filtros para o H_2S em pequenas propriedades rurais na região do Maciço de Baturité, Ceará, Brasil.

2 | BIODIGESTOR

O biodigestor é formado de uma câmara fechada onde a biomassa é fermentada anaerobicamente, e o biogás resultante é canalizado para ser empregado nos mais diversos fins. Esse equipamento, além de produzir gás, limpa os resíduos não aproveitáveis de uma propriedade agrícola e gera fertilizante, é considerado por alguns como um poço de petróleo, uma fábrica de fertilizante e uma usina de saneamento, unidos em um mesmo equipamento. Ele trabalha com qualquer tipo de material que se decomponha biologicamente através da ação das bactérias anaeróbias. Praticamente todo resto de animal ou vegetal é biomassa capaz de fornecer biogás através do biodigestor. Os dejetos dos animais são o melhor alimento para o biodigestor, pelo fato de já saírem dos seus intestinos carregados de bactérias anaeróbias (BARREIRA, 2011).

Existem vários tipos de biodigestores, que visam basicamente criar condição anaeróbia, na ausência de oxigênio na biomassa a ser digerida. A escolha de um tipo ou de outro vai depender das condições locais, disponibilidade de substrato, experiência e conhecimento do construtor, investimento envolvido, etc.

Os biodigestores são classificados quanto a sua forma de abastecimento em: batelada e contínuos. Biodigestores em batelada; possui uma característica que consiste na adição de todo o resíduo orgânico de uma só vez na câmara digestora. Posteriormente, fecha-se hermeticamente o biodigestor, favorecendo a digestão anaeróbia. O gás produzido é armazenado na câmara digestora ou em um gasômetro acoplado a esta. Após ter completado todo o processo de biodigestão, retira-se o biofertilizante gerado e adiciona-se uma nova carga de resíduos (ALVES et al., 2010).

O biodigestor indiano tem sua cúpula geralmente feita de ferro ou fibra, no qual, o processo de fermentação acontece mais rápido, pois aproveita à temperatura do solo que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias, a construção, por ser subterrânea, dispensa o uso de reforços. No biodigestor Chinês possui uma peça única, construído em alvenaria e enterrado no solo, para ocupar menos espaço. Este modelo possui um custo mais barato em relação aos outros, pois sua cúpula é feita em alvenaria Outro modelo de equipamento atualmente muito difundido é o biodigestor modelo canadense. É um modelo tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga em alvenaria e com a largura maior que a profundidade, possuindo, portanto, uma área maior de exposição ao sol, o que possibilita uma grande produção de biogás (BARICHELLO, 2010).

3 | DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia é o processo de degradação biológica da matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio que, dentre outros subprodutos, gera o biogás. A digestão anaeróbia ocorre em etapas sequenciais, sendo cada uma delas caracterizadas pela atividade de grupos específicos de microrganismos. Somente na última etapa, chamada metanogênese, é formado o biogás. O processo de digestão anaeróbia é subdividido em cinco etapas: Hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese e sulfetogênese. A hidrólise e acidogênese são realizadas pelas mesmas bactérias e consideradas como uma fase. A sulfetogênese ocorre somente na presença dos sulfatos, e, nessa situação, compete com a metanogênese, diminuindo a produção do metano (SILVEIRA et al., 2015).

A conversão de substrato em biogás ocorre com a participação de três grupos principais de microrganismos: (i) bactérias fermentativas, acidogênicas; (ii) bactérias sintróficas, acetogênicas; e (iii) arqueias metanogênicas. Há, ainda, um grupo opcional de bactérias e arqueias sulforeductoras. Conforme será explicado em seguida, cada grupo tem comportamento fisiológico diferente e funções específicas na cadeia da degradação.

Na fase de hidrólise, ocorre a solubilização da matéria orgânica, ou seja, a quebra de bio-polímeros, que são os compostos orgânicos complexos presentes nos substratos. Para a hidrólise, as bactérias liberam enzimas que convertem os carboidratos complexos em monômeros e açúcares; e as proteínas em aminoácidos e os lipídeos (gorduras), depois de sua emulsificação, em ácidos graxos. Em paralelo, as mesmas bactérias atuam na fermentação, ou seja, na acidogênese dos produtos obtidos, formando moléculas menores.

As bactérias fermentativas ocorrem em ambiente natural em grande quantidade e são as primeiras a atuar na etapa sequencial da degradação do substrato e, conseqüentemente, podem se beneficiar energeticamente mais que os microrganismos nas etapas seguintes. O processo da acidificação pode começar já na rede coletora ou quando o lodo com alto teor de material orgânico permanece certo tempo em condições anaeróbias. Como todos os processos biológicos, o processo de acidificação é acelerado em temperaturas elevadas (SILVEIRA et al., 2015).

Na fase da hidrólise, as bactérias liberam enzimas extracelulares, que transformam as moléculas maiores (polissacarídeos) em compostos orgânicos simples (monômeros). Durante a fase metanogênese, as bactérias atuam sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono e os transforma em metano. Durante a fase da acidogênese, as bactérias que produzem os ácidos transformam as substâncias resultantes da hidrólise. As moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos são convertidas em moléculas de ácidos orgânicos, etanol, amônia, hidrogênio, dióxido de carbono, dentre outros compostos. Para a realização do processo de fermentação, é necessário dispor de condições adequadas, especialmente de hidrogênio, pois este poderá afetar negativamente a eficiência do processo (RIZZONI et al., 2012).

Na fase da acetogênese depende da atividade de dois grupos de bactérias acetogênicas: os produtores de hidrogênio, que convertem os compostos orgânicos anteriormente gerados em acetato, liberando hidrogênio (H_2) e dióxido de carbono (CO_2); e os consumidores de hidrogênio que produzem o acetato a partir de H_2 e CO_2 . Segundo Chernicharo (2007), a coexistência de bactérias produtoras e consumidoras de hidrogênio exige a manutenção de baixas concentrações de hidrogênio e, além disso, sua produção poderá ser inibida pelo acúmulo do produto acetato.

A fase acetogênese caracteriza-se por transformar o material resultante da acidogênese em ácido etanóico, hidrogênio e gás carbônico. Essa fase exige que a quantidade de hidrogênio gerado seja consumida pelas bactérias, mantendo o equilíbrio interno do biodigestor (RIZZONI et al., 2012). Nessa as bactérias acetogênicas, quando comparadas às outras na cadeia, têm uma taxa de crescimento muito baixa e pouco rendimento celular. Segundo Bischofsberger et al. (2005), sua recuperação em reatores de lodo, em condições mesofílicas, demora mais que 5 dias.

A etapa da metanogênese consome o hidrogênio e o acetato, porém o excesso de acidez também inibe este processo. Assim como a produção de metano normalmente indica o bom funcionamento da acetogênese, a diminuição na produção (causada, por exemplo, pela competição com as bactérias sulforetodoras) tem como resultado, necessariamente, o acúmulo elevado de hidrogênio (talvez também de acetato) e a inibição da acetogênese.

No final da cadeia de degradação anaeróbia nos reatores, desenvolvem-se duas funções primordiais: a produção do biogás, possibilitando, assim, a remoção do carbono orgânico da fase líquida; e, ao mesmo tempo, a manutenção das condições necessárias para a produção dos próprios substratos, promovendo baixa pressão parcial do hidrogênio e acetato no meio líquido, e resultando em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Esses microrganismos são altamente sensíveis a inibições (SILVEIRA et al., 2015).

Durante a fase metanogênese, as bactérias atuam sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono e os transforma em metano (biogás). Durante as reações químicas ocorre a formação de microbolhas de metano e dióxido de carbono em torno das bactérias metanogênicas, isolando-a de um contato direto com a mistura, sendo aconselhável uma agitação no biodigestor (RIZZONI et al., 2012). O tempo que o biodigestor pode levar produzindo biogás varia de 18 a 40 dias, sendo que o biofertilizante só poderá ser retirado no final do processo, ou seja, após 40 a 55 dias.

4 | BIOGÁS

O biogás ocorre que grande parte de energia armazenada na biomassa é simplesmente perdida, lançada na atmosfera, na forma de gases ou calor, através do processo de decomposição. Toda matéria viva, após a morte, é decomposta por bactérias microscópicas. Durante esse processo, as bactérias retiram da biomassa parte das

substâncias de que necessitam para continuarem vivas, e lançam na atmosfera gases e calor. Este é o chamado biogás, uma fonte abundante, não poluidora e barata de energia. Sua utilização permitiria que a humanidade reduzisse, drasticamente, o consumo de petróleo.

O biogás é uma mistura de metano, do carbônico e de outros gases em menor quantidade. O metano, principal componente do biogás (65%), não tem cheiro, cor ou sabor. Mas outros gases presentes têm um cheiro semelhante ao ovo podre. Como sua participação é pequena, esse odor é muito discreto e quase sempre imperceptível. Na queima, ou seja, após ser o gás utilizado, o cheiro desaparece de modo que ele nunca será sentido pelo usuário (BARREIRA, 2011).

O biogás é um produto em estado gasoso, pois é constituída principalmente por uma mistura de hidrocarbonetos (compostos químicos formados por Carbono e Hidrogênio) como o Dióxido de Carbono (CO_2) e o gás Metano (CH_4) Royá et al. (2011). A proporção teórica dos componentes do biogás se apresenta na Tabela 1.

É a porcentagem de metano que confere ao biogás um alto poder calorífico, que varia de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico. Esta variação decorre de sua maior ou menor pureza, ou seja, maior ou menor quantidade de metano. O biogás altamente purificado pode alcançar até 12.000 kcal por metro cúbico (BARREIRA, 2011).

Componentes	(%)
Metano (CH_4)	55 – 70
Dióxido de Carbono (CO_2)	25 – 45
Nitrogênio (N_2)	<3
Hidrogênio (H_2)	<2
Oxigênio (O_2)	0 – 0,1
Sulfeto de Hidrogênio (H_2S)	<1

Tabela 1. Componentes do biogás.

Fonte: Royá et al. (2011).

O biogás é um combustível renovável e limpo, é um substituinte do gás de cozinha, a sua queima não desprende fumaça e não deixa resíduos nas panelas facilitando a vida da agricultora dona de casa. A sua utilização sistemática reduz os custos do gás, incluindo o produto, transporte e armazenagem. O biogás pode ser utilizado, por exemplo, em: Fogões, Lâmpioes, Campânulas, Chocadeiras, Secadores diversos, Motores de combustão interna, Conjuntos moto-bomba, Geradores de energia elétrica (ALVES et al., 2010).

5 I SULFETO DE HIDROGÊNIO (H₂S)

O sulfeto de hidrogênio é um gás extremamente tóxico de cheiro desagradável e mais denso que o ar. Esse gás condensa em forma líquida a temperatura de -62°C e é parcialmente solúvel em água e em compostos orgânicos. Esse composto pode ter origem na natureza, jazidas de petróleo, por exemplo, ou em seguimentos industriais, como processos de remoção química (MAINIER; VIOLA, 2005). Este composto não é responsável somente por causar problemas relacionados a saúde, também é nocivo as instalações de produção de biogás e ao meio ambiente. Durante a combustão do H₂S é formado o dióxido de enxofre (SO₂), esse composto combinado com vapor d'água produz o gás sulfídrico que é responsável pela corrosão dos equipamentos; reduzindo assim a vida útil de motores e compressores, por exemplo, (ABATZOGLOU; BOINVIN, 2009).

A formação de sulfeto de hidrogênio no biogás acontece durante a digestão anaeróbia, a concentração de enxofre presente na biomassa utilizada influencia diretamente a quantidade de H₂S que estará presente no biogás (CARVALHO, 2016). A formação do sulfeto de hidrogênio ocorre pela ação das bactérias sulfato-redutoras. Em condições anaeróbias o sulfato é um acceptor de elétron e por isso se reduz a sulfeto (MANIER; VIOLA, 2007). Essas bactérias utilizam acetato e hidrogênio e competem com as metanogênicas pelos mesmos substratos (CRISTIANO, 2015).

A remoção do H₂S pode acontecer de diversas maneiras, por via biológica ou química e, em diferentes etapas do processo de produção do biogás. Um dos métodos que tem elevada eficiência e baixo custo é a remoção por óxidos de ferro, realizada após a digestão anaeróbia (CRISTIANO, 2015). O princípio da adsorção por óxidos de ferro é um dos métodos mais antigos utilizados para remoção do sulfeto de hidrogênio. Esponjas de aço podem ser empregadas como preenchimento de filtros em que, o biogás passa e as reações de remoção de H₂S ocorrem (ZICARI, 2003). O H₂S reage com óxidos de ferro formando sulfetos insolúveis, o material adsorvente é regenerado com contato com ar (CRISTIANO, 2015; LAURENT et al., 2008).

A eficiência de remoção do H₂S do biogás da fermentação anaeróbica de dejetos de bovinos, por meio de processo químico biológico ocorrem em concentração média de 3542 ppm de H₂S na entrada do filtro o tempo de retenção do biogás foi de 288 segundos e a eficiência de remoção foi de 95% (LIN et al., 2013). A avaliação econômica do uso de biogás para produção de eletricidade com e sem sistema de remoção de H₂S, por meio de carvão ativado impregnado com 2% de iodeto de potássio, em pequenas explorações suinícolas na Tailândia, foi eficiência na remoção de H₂S que pode chegar a 100% com adsorção de 0,062 kg de H₂S kg⁻¹ do adsorvente (PIPATMANOMAI et al., 2009).

O sulfeto de hidrogênio é um gás extremamente tóxico, com cheiro característico, altamente inflamável e mais denso que o ar. Esse composto é gerado no biogás pela ação das bactérias redutoras de sulfato. Quando em contato com os seres humanos o

sulfeto de hidrogênio causa irritação nos olhos, atua no sistema nervoso e, dependendo da concentração pode levar a morte (MAINIER; VIOLA, 2005).

Esse composto não causa problemas apenas para os seres humanos, também é altamente danoso as instalações produtoras de biogás. O H_2S é um gás solúvel e causa corrosão nos equipamentos, além disso, quando entra em combustão esse composto forma o dióxido de enxofre (SO_2) que combinado com vapor d'água forma o ácido sulfúrico, responsável por corroer tubos de escape dos queimadores, lâmpadas de gás e motores (CRISTIANO, 2015). Com a finalidade de ampliar e popularizar o uso do biogás, os processos para purificação do mesmo vêm sendo desenvolvidos. Dentre os gases que fazem parte da composição do biogás, a principal preocupação se dá para remoção do H_2S , por esse ser o mais perigoso dos contaminantes (MAINIER; VIOLA, 2005).

Na filtragem do biogás para remoção do H_2S , são poucas as alternativas de baixo custo disponível no mercado. O desenvolvimento de tecnologias e, ou processos para prover o seu aproveitamento podem contribuir com a disseminação de seu uso, além de ser uma alternativa interessante para empresas que queiram produzir e difundir sistemas de filtragem de biogás (O'FLAHERTY; COLLERAN, 2000; MACHADO et al., 2015).

6 | BIODIGESTOR ARTESANAL DE BATELADA E FILTRAGEM DE H_2S

O trabalho foi realizado na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) no Campus das Auroras, no laboratório de Biomassa, com a idealização de biodigestor desenvolvido em escala artesanal a fim de viabilizar seu uso, principalmente nas áreas rurais na região do Maciço de Baturité, Ceará. Construíram-se dois biodigestores artesanais em bateladas de garrafão Pet de 20 litros, sendo que, num biodigestor colocou-se filtro de palha de aço para filtrar o H_2S e em outro biodigestor foi sem filtro e a biomassa utilizada foi de bovino para alimentar os biodigestores.

O biodigestor artesanal de batelada com filtro de palha de aço começou a produzir biogás aos 14 dias, ou seja, duas semanas após alimentação. Duas semanas depois, o biodigestor sem filtro começou a produzir biogás, isso ocorreu, por que teve um vazamento na câmara de ar de carro que foi usada para armazenar o biogás. Caso isso não tivesse ocorrido, provavelmente os dois biodigestores teriam produzido o biogás no mesmo período de tempo, já que o esterco utilizado foi igual para os dois.

Após 21 dias de fermentação da biomassa nos dois biodigestores, verificou-se que as câmaras de ar de ambos ficaram completamente cheias (Figura 1 – A e B), por isso, que foi liberado o biogás através da queima (Figura 1 – C e D) para esvaziar e evitar explosão. Esse processo foi realizado durante três semanas, totalizando 36 dias de avaliação. Isso mostrou que cada biodigestor produziu bastante volume de biogás. Após esse período, não ocorreu mais a produção de biogás, pois, à biomassa nos biodigestores foram totalmente degradadas pela a biodigestão.

Pereira et al. (2018) estudaram a produção de biogás em dois biodigestores do tipo batelada (artesanal), abastecidos com esterco caprino e cama avícola, e analisaram qual das biomassas residuais apresenta melhores vantagens quando submetidas a processo de biodigestão anaeróbia a partir da concentração de NH_4 , CO_2 , NH_3 e H_2S . Os autores verificaram que a produção de biogás utilizando esterco de caprino e cama avícola em ambos os biodigestores iniciaram a produção de biogás na primeira semana após alimentação. Alcócer et al. (2014) verificaram que a produção inicial de biogás ocorreu no segundo dia após alimentação de biodigestor tipo batelada utilizando resíduos de frutas como a matéria prima. Comparando com o biodigestor tipo batelada abastecido com esterco de bovino, observou-se que a produção inicial de biogás é mais lenta, pois só foi verificada a produção de biogás a partir da segunda semana após alimentação dos mesmos.



Figura 1. A produção de biogás, quando a câmaras de ar ficaram cheias e a queima do biogás produzido. A) biodigestor com filtro; B) biodigestor sem filtro; c) é a queima do biogás com filtro e D) é a queima do biogás sem filtro.

Fonte: Autores (2021).

Na Tabela 2, têm-se a comparação do biogás dos dois biodigestores com esterco de bovino, sendo, um biodigestor com filtro e outro sem filtro. Na avaliação dos gases do biodigestor com filtro observou-se 60,8% de CH_4 , 24% de CO_2 , 2,1% de O_2 , 17 ppm de CO e 8 ppm de H_2S . Já, o biodigestor sem filtro, mostrou 50,5% de CH_4 , 24,3% de CO_2 , 2,1% de O_2 , 19 ppm de CO e 4 ppm de H_2S .

A quantidade de gás carbônico observada nos biodigestores foram 24% (filtro) e 24,3% (sem filtro) mostrando que são inferiores ao do metano produzido. Segundo Oliveira e Domingues (2011) relatam que o valor desse parâmetro significa que o metano é 20 vezes mais nocivo ao meio ambiente comparado ao CO₂ no que se atribui ao agravamento do efeito estufa e o Potencial de Aquecimento Global (GWG) do CO₂ é apenas 1 e as estimativas relacionadas às emissões equivalentes de CO₂ correspondente às emissões de CH₄ pode-se considerar que o GWG refere-se a 21.

Gases	Concentração	
	Biodigestor com filtro	Biodigestor sem filtro
Metano (CH ₄)	60,8%	50,5%
Dióxido de carbono (CO ₂)	24,0%	24,3%
Oxigênio (O ₂)	2,1%	2,1%
Monóxido de carbono (CO)	17ppm	19ppm
Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	8ppm	4ppm

Tabela 2. Comparação dos gases do biogás de biodigestores instalados em laboratório de biomassa nos campos das Auroras.

Fonte: Autor (2018).

Portanto, o CH₄ produzido pela biodigestão no interior dos biodigestores instalados proporciona redução da emissão direto dos gases do efeito estufa na atmosfera. Conforme Marques et al. (2014) a utilização da tecnologia do biodigestor favorece uma destinação adequada aos dejetos de animais e promove a conscientização das comunidades rurais sobre os impactos ambientais e da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, bem como o seu possível agravante no aquecimento global.

O biodigestor com filtro apresentou maior quantidade de H₂S em relação ao biodigestor sem filtro. O biodigestor com filtro de palha de aço foi utilizado para remoção de enxofre, já que a palha de aço é um material barato, fácil de adquirir e também facilidade na montagem no biodigestor. O resultado mostrou que o uso do filtro não foi eficiente, já que o objetivo do uso foi para a redução da quantidade de H₂S (Tabela 6), visto que, o H₂S é prejudicial ao biogás influenciando na queima e na vida útil do material de armazenagem podendo ocasionar a corrosão.

Abatzoglou e Boinvin (2009) afirmam que o H₂S não é responsável somente por causar problemas relacionados à saúde, também é nocivo as instalações de produção de biogás e ao meio ambiente. Durante a combustão do H₂S é formado o dióxido de enxofre (SO₂), esse composto combinado com vapor d'água produz o gás sulfídrico que é responsável pela corrosão dos equipamentos; reduzindo assim a vida útil de motores e compressores, por exemplo. Muche e Zimmerman (1985) reportam que a presença de H₂S no biogás o torna corrosivo para as peças de metal e galvanizadas que são igualmente

sujeitas à corrosão da superfície. Afirma ainda, que o efeito do H_2S sobre metais não ferrosos em componentes de equipamentos, tais como reguladores de pressão, medidores de gás e válvulas, é muito mais grave, pois eles são muito rapidamente corroídos também em motores a gás (selos e válvulas).

O biodigestor com filtro apresentou H_2S de 8ppm e o sem filtro 4ppm, verificou-se que foram inferiores ao padrão estabelecido que é 1%, no qual CCE (2000) relata que o H_2S está presente normalmente numa quantidade inferior a 1% (10.000 ppm) do volume de biogás devido ser um gás altamente tóxico, mesmo quando presente em níveis reduzidos (inferiores a 1.000 ppm). De acordo com Matinc et al. (2013) dependendo da concentração de H_2S pode tornar o uso do biogás limitante, pois, é um gás com propriedades corrosivas. Carvalho (2016) informa que a formação de H_2S no biogás acontece durante a digestão anaeróbia, a concentração de enxofre presente na biomassa utilizada influencia diretamente a quantidade de H_2S que estará presente no biogás. Mainier e Viola (2005) relata que o sulfeto de hidrogênio é um gás extremamente tóxico de cheiro desagradável e mais denso que o ar. Esse gás condensa em forma líquida a temperatura de $-62^\circ C$ são parcialmente solúveis em água e em compostos orgânicos.

No estudo com biodigestor de batelada, observou-se que não foi eficiente. Poderia ter sido testado outros tipos de filtros ou a realização da troca do filtro de palha de aço a cada semana, talvez o resultado obtido fosse satisfatório na remoção do H_2S no biogás. Anerousis e Whitman (1985) afirmam que o processo de palha de aço resulta ser um método muito eficaz e econômico, para a remoção de H_2S do biogás, desde que o equipamento esteja devidamente projetado e operado. Zicari (2003) relata esponjas de aço podem serem empregadas como preenchimento de filtros em que, o biogás passa e as reações de remoção de H_2S ocorrem.

Considera-se viável a construção e instalação de biodigestores artesanais feitos com materiais recicláveis, pois, são baratos e de fácil acesso para pequenas áreas rurais para a produção de biogás. Nesses locais, o biogás produzido pode ser utilizado na geração de energia térmica, energia elétrica com o uso de um gerador e pode substituir a lenha e o gás de cozinha GLP (Gás liquefeito de petróleo). Já o biofertilizante, é empregado na fertilização das plantações em geral da propriedade rural proporcionando a ciclagem de nutrientes no solo sendo de suma importância para o desenvolvimento das plantas.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O biogás produzido no biodigestor com filtro detém de maior qualidade em comparação ao biodigestor sem filtro. Entretanto, a biodigestão com filtro, produz uma maior quantidade de gás CH_4 que é o principal gás de produção de biogás comparando ao biodigestor sem filtro, estando apto para utilização energética a partir da terceira semana de biodigestão.

Os dois biodigestores produzem biogás e biofertilizante, mesmo em pequena escala, montados com material reciclável, isso mostra que qualquer pessoa, principalmente pessoas de áreas rurais estão apta a adquirir materiais para construir e instalar essa tecnologia de biodigestor artesanal em batelada.

O biogás produzido com material coletado da região do Maciço do Baturité a partir do excremento animal mostra-se eficaz em suas propriedades de combustão e se encontra dentro da faixa recomendada para produtividade da formação de biogás. O CH₄ teve um rendimento relativamente bom, propondo que este processo possa ser utilizado em áreas rurais para geração de energia.

REFERÊNCIAS

ABATZOGLOU, N.; BOIVIN, S. A review of biogas purification processes. **Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofpr**, v.3, p. 42–71. 2009.

ALCÓCER, J. C. A.; DUARTE., J. B. F.; CAJAZEIRAS.; M. L. M.; OLIVEIRA, R. G.; ROCHA, Y. M. G.; PONTES, B. C. M.; J.; DUARTE.; I.; QUEIROZ, D. M. B.; RAMOS, K. M.; DIOGO; G, J. O.; DANTAS, G. N. Produzindo Biogás a partir de Resíduos de Frutas para Gerar Energia Elétrica. **Revista Sodebras**, v. 9, p. 113-116, 2014.

ALVES, E. E. N.; INOUE, K. R. A.; BORGES, A. C. Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais. **II Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável**, Universidade Federal de Viçosa – Viçosa/mg, p.6-6, 25 set. 2010.

ANEROUSIS, J. P.; S. K. WHITMAN. **Iron Sponge: Still a Top Option for Sour Gas Sweetening**. Oil and Gas Journal February,1985. 18: 71-76.1985.

BARICHELLO, R. **O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso da região noroeste do Rio Grande do Sul**. 2010. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Centro de Tecnologia, Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

BARREIRA, P. **Biodigestores: Energia, Fertilidade e Saneamento para a Zona Rural**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 2011.

CARVALHO, C. G. **Desenvolvimento de nano filtro para remoção de sulfeto de hidrogênio do biogás**. 2016. 103 f. Monografia (Curso de graduação em Engenharia de Energia) Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2016.

BISCHOFBERGER, W.; DICHTL, N.; ROSENWINKEL, K. H.; SEYFRIED, C. F.; BOHNKE, B. **Anaerob technik**. Berlin. Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.

CARVALHO, C. G. **Desenvolvimento de nano filtro para remoção de sulfeto de hidrogênio do biogás**. 2016. 103 f. Monografia (Curso de graduação em Engenharia de Energia) Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2016.

CRISTIANO, D. M. **Remoção de H₂S com óxido de ferro nano estruturado para fins de purificação de biogás**. 2015. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, (Princípios do tratamento biológico de águas residuais), 2. ed. v.5, 2007.

CCE – Centro para conservação de energia. **Guia Técnico de Biogás**. Amadora – Portugal. 117p. 2000.

GONÇALVES, H. F. E.; HÉRIKA F. E.; LIMA, R. D. S.; WEISS, V. A. B.; MENEZES, V. D. S. **O biodigestor como princípio de sustentabilidade de uma propriedade rural**. 2009. Disponível em: <http://www.catolica_to.edu.br/portal/portal/downloads/docs_gestaoambiental/projetos2_09_1/1_periodo/O_biodigestor_como_principio_de_sustentabilidade_de_uma_propriedade_rural.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2021.

LAURENT, S.; FORGE, D.; PORT, M.; ROCH, A.; ROBIC, C.; ELST, L. V.; MULLER, R. N. **Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications**. *Chem. Ver.*, v. 108, P. 2064-2110, 2008.

LIN, W. C.; CHEN, Y. P.; TSENG, C. P. Pilot scale chemical–biological system for efficient H₂S removal from biogás. *Bioresource Technology*, v.135, p283-291, 2013.

MAINIER, F. B.; VIOLA, E. D. M. O Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) e o Meio Ambiente. Universidade Federal Fluminense e INMETRO/LATEC (UFF). **II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGET**, 2005.

MATINC, C.; LINS, L. P.; BONA, E. M.; SOMER, J. G.; MILANI, L. M.; TANIA MENEGOL, T.; BLEY JÚNIOR, C. **Comparação da composição do biogás gerado entre granja produtora de leitões e uma granja terminação de suínos**. In: III Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais, 12 a 14 de março, São Pedro, SP, p. 1-4, 2013.

MACHADO, N. S.; SILVA, J. N.; OLIVEIRA, M. V. M.; COSTA, J. M.; BORGES, A. C. Remoção do sulfeto de hidrogênio do biogás da fermentação anaeróbia de dejetos de suínos utilizando óxido de ferro, hidróxido de cálcio e carvão vegetal. *Revista Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 30, n.4, p.344-356, 2015.

MARQUES; S. M. A. A.; SILVA JÚNIOR, F. J.; MONTEIRO, M. K. M. D.; VIEIRA, A. S.; VENTURA, F. A.; VENTURA JÚNIOR, R. Produção de biofertilizante, adubo orgânico e biogás para agricultura familiar. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v.18, n. 3, p. 990-999, 2014.

MUCHE, H. ZIMMERMAN, H. **“Purification of biogás”**. A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien – GATE, pág. 25, 1985.

O’FLAHERTY, V.; E. COLLERAN. Sulfur problems in anaerobic digestion. econdary Sulfur problems in anaerobic digestion. London: **International Water Association**. P. 467-489, 2000.

OLIVEIRA, J.; ALCÓCER, J. C. A.; XAVIER, A. R. **Produção de biogás a partir de biodigestores: estratégias sustentáveis para a macrorregião do Maciço de Baturité - CE**. In: XAVIER, A. R.; ALCÓCER, J. C. A.; OLIVEIRA, J. Educação, ciência, tecnologia e Inovação. Fortaleza: Impreco, 2016. p. 146-162.

OLIVEIRA, W. R.; DOMINGUES, E. G. Energia Elétrica e Créditos de Carbono: uma Proposta de Aproveitamento Energético do biogás Gerado em Estações de Tratamento de Esgoto: Estudo de Caso, **Revista Unopar Científica Exatas Tecnologia**, Londrina, v. 10, n. 1, p. 61-67, 2011.

OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia, Embrapa Suínos e Aves, 2004.

PIPATMANOMAI, S.; KAEWLUAN, S.; VITIDSANT, T. Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H₂S removal by activated carbon in small pig farm. **Applied Energy**, v.86, p.669 - 674, 2009.

PEREIRA, L. C.; BALBINO, M. V.; VIANA, L. S.; FARIAS, N. S. N.; XAVIER, M. R. R.; RAMOS, W. Q.; CORREIO, J. A. C. Estudo comparativo de biogás produzido com resíduos animais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Pará, p.1-17, 2018.

RIZZONI, L. B.; TOBIAS, A. C. T.; DEL BIANCHI, M.; GARCIA, J. A. D. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v.9, n.18, 2012.

ROYA, B.; FREITAS, E.; BARROS, E.; ANDRADE, F.; PRAGANA, M.; SILVA, D. J. A. **Biogás –uma energia limpa**. Revista Eletrônica Novo Enfoque, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 142 –149.

SILVEIRA, B. et al. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto / Probiogás**; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2015.

SOLAR, Portal. **Energia renovável**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/energia-renovavel.html>>. Acesso em: 03 jul. 2021.

ZICARI, S. M. **Removal of hydrogen sulfide from biogas using cow- manure compost**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência). Department of biological and Environmental Engineering, Cornell, Ithaca. 2003.

ANÁLISE DE VIGAS COMPÓSITAS LAMINADAS DE TIMOSHENKO ATRAVÉS DO MÉTODO DE GREEN

Data de aceite: 02/08/2021

Leonardo Fellipe Prado Leite

Universidade Federal de Sergipe,
Departamento de Engenharia Civil
Aracaju – Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/4624443167380813>

Fabio Carlos da Rocha

Universidade Federal de Sergipe,
Departamento de Engenharia Civil
Aracaju – Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/1027322038462037>

RESUMO: Avanços recentes na tecnologia dos materiais compósitos têm levado ao uso de vigas, nas mais diversas composições, como componentes estruturais em várias aplicações de engenharia devido às propriedades mecânicas eficientes destes materiais. No entanto, os efeitos de deformação por cisalhamento tornam-se mais pronunciados nestas estruturas devido aos baixos módulos de cisalhamento transversal em comparação com os módulos de tração no plano, quando sujeitas a cargas transversais. O que justifica a necessidade de uma análise estrutural precisa para vigas compósitas. Com as limitações existentes na teoria clássica de vigas, principalmente nas delgadas, para representar o comportamento conjunto da deflexão por flexão e por cisalhamento, foi desenvolvida uma formulação analítica para vigas laminadas ortotrópicas por meio da aplicação do método das funções de Green à viga de Timoshenko com consideração da teoria da Camada Única

equivalente (ESL). O método se mostrou simples, eficaz e com alta replicabilidade, sendo possível utilizar em problemas com carregamentos mais complexos e compará-los com métodos numéricos, tal como o Método dos Elementos Finitos.

PALAVRAS-CHAVE: Timoshenko, Vigas, Laminados, Método das funções de Green.

ANALYSIS OF TIMOSHENKO LAMINATED COMPOSITE BEAMS USING THE GREEN METHOD

ABSTRACT: Recent advances in the technology of composite materials have led to the use of beams, in the most diverse compositions, as structural components in various engineering applications due to the efficient mechanical properties of these materials. However, shear deformation effects become more problematic in these structures because of the low shear modulus compared to the tensile modulus in the plane when subjected to transverse loads. That fact justifies the need for a precise structural analysis for composite beams. Once known to the limitations existing in the classical theory of beams (mainly in thin beams) to represent the deflection behavior due to shear deformation, in this work, an analytical formulation for orthotropic laminated beams was developed using the Green function method applied to Timoshenko beams with consideration of the equivalent single layer theory (ESL). The present method proved to be simple, effective, and with high replicability, using it in problems with more complex loads and comparing them with numerical methods such as the Finite Element Method.

KEYWORDS: Timoshenko, Beams, Laminated, Method of Green's Function.

1 | INTRODUÇÃO

Combinar propriedades de materiais para desenvolver para obter melhor desempenho é uma prática comum ao longo da história da humanidade. A antiga civilização israelita utilizava a mistura de palha picada com pedras para reforçar suas estruturas, os guerreiros samurais japoneses eram conhecidos por suas espadas laminadas forjadas com o intuito de ter propriedades cortantes desejáveis. Com o avanço do conhecimento, outras áreas se beneficiaram desse conceito na modernidade, tais como a Engenharia Civil, Aeronáutica, Naval, Mecânica e de Tecnologia. Um exemplo clássico é o concreto armado e as diversas fibras utilizadas em sua composição (VISON e SIERAKOWSKI, 2008).

Atualmente é essencial entender o funcionamento dos materiais compósitos, uma vez, que estes são usados para otimizar diversas tecnologias presentes na produção de caminhões de alta resistência, em navios, em barcos, pontes (FIGURA 1), estradas, equipamentos modernos da agricultura, hélices para energia eólica, instrumentos musicais, asas de aeronaves e em vigas compósitas laminadas, sendo este último o foco principal do presente trabalho.

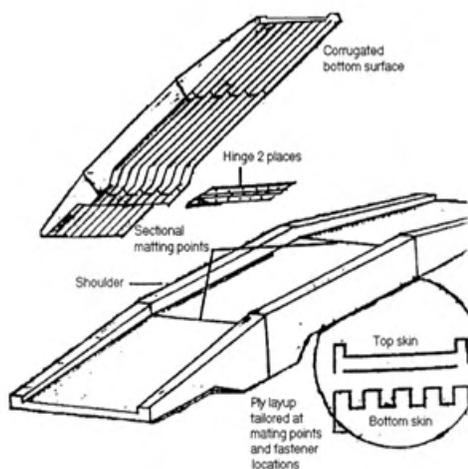


Figura 1 – Esquema de ponte portátil implantável (VISON e SIERAKOWSKI, 2008).

As vigas compósitas laminadas são formadas por camadas de ao menos dois materiais diferentes. Esta composição tem o objetivo de unir propriedades de interesse, tais como elevadas relações resistência-peso e rigidez-peso quando comparado com vigas formadas por único material. Dentre os compósitos que têm grande facilidade de

obter as elevadas relações citadas acima, pode-se mencionar as lâminas reforçadas com fibras (JONES, 1999). Estas laminas são importantes pois proporcionam maior controle da distribuição dos esforços, uma vez que apresentam maior resistência na direção das fibras (VISON e SIERAKOWSKI, 2008).

Devido às vantagens proporcionadas pelos compósitos laminados, em particular aplicados a estrutura de vigas, torna-se importante a precisão na determinação dos campos mecânicos, tais como deslocamento e forças de interação entre camadas, quando submetidas à flexão. As principais teorias utilizadas para analisar vigas laminadas são: teoria da camada única equivalente (ESL – equivalente single layer), teoria layerwise (LW) e a teoria zig-zag (ZZ). A ESL é uma teoria que condensa as propriedades do laminado em uma única camada por meio da ponderação dos materiais. Devido à particularidade da ESL, tanto a teoria clássica de viga, quanto as teorias com consideração de cisalhamento de primeira ordem e de ordem superior podem ser aplicadas em conjunto com a ESL (FARIA, 2006). Já a teoria LW e ZZ consideram separadamente cada camada, no entanto, diferenciam-se na consideração da hipótese de interação entre elas. Por estes fatos, LW e ZZ são teorias consideradas mais precisas quando comparadas com a ESL, por outro lado, mais custosas computacionalmente. Por aliar baixo custo computacional e boa precisão global, no presente trabalho, é desenvolvida a formulação analítica, via funções de Green, para a teoria de vigas compósitas laminadas pela abordagem ESL aplicada à teoria cisalhante de primeira ordem, ou comumente conhecida, teoria de vigas de Timoshenko.

Este trabalho está dividido como se segue: item 2 é apresentada as teorias de vigas isotrópicas, de Camada Única Equivalente e as funções de Green. No item 3 são apresentados os resultados e discussões e por últimos, no item 4, são realizados os comentários finais.

2 | DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 Teorias de vigas isotrópicas

Para analisar vigas isotrópicas homogêneas, ou seja, que possuem um único material com propriedades mecânicas iguais para todas as direções, pode-se utilizar vários tipos de cinemáticas e a escolha da mais apropriada depende de fatores presente em cada problema, pois cada cinemática tem suas vantagens e desvantagens por considerarem ou desconsiderarem alguns efeitos na flexão das vigas.

Por nível de complexidade, a teoria mais simples é a elementar de vigas (TEV), conhecida como teoria de Euler-Bernoulli, na sequência tem a adição da consideração do efeito de cisalhamento presente na teoria de deformação cisalhante de primeira ordem, conhecida como teoria de Timoshenko. Evoluindo o nível de complexidade, tem-se as teorias que, adicionalmente ao efeito de cisalhamento, consideram tanto o efeito do empenamento da seção quanto a nulidade da tensão de cisalhamento nas bordas inferior e superior das

vigas. Estas abordagens elaboradas são conhecidas como teoria de deformação cisalhante de alta ordem ou teoria refinada para vigas.

A teoria de viga mais antiga (século XVIII) é a de Euler-Bernoulli que tem a vantagem por ser simples e com alta precisão para vigas que têm uma relação comprimento-altura muito grande, ou seja, para vigas delgadas. No entanto, a deformação por cisalhamento na flexão é desprezada em Euler-Bernoulli. Por conta disso, em 1921, o engenheiro Stephen Timoshenko incluiu o efeito cisalhante de maneira simples, considerando que a tensão de cisalhamento seja constante, e, por isso, apresenta imprecisão na interpretação das tensões e da deformação axial. Com o passar do tempo, surgiram outras teorias que consideram essa tensão de cisalhamento variável, ou seja, de ordem superior (SAYYAD, 2011).

Segundo a teoria de Euler-Bernoulli, quando uma viga sofre deflexão mantém as seções planas e perpendiculares à linha neutra. Já para a análise das vigas de Timoshenko a seções após deformada continuam planas, porém não são mais perpendiculares a linha neutra, isso se deve ao fato de considerar tanto a rotação devido à flexão, ou seja, rotação equivalente à derivada primeira da deflexão, quanto a rotação devido ao cisalhamento (FIGURA 2).

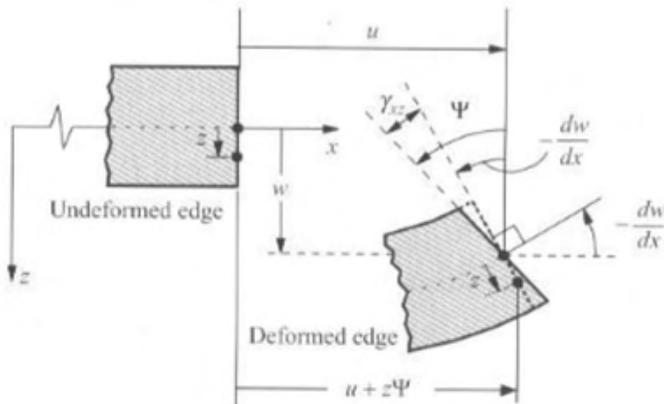


Figura 2 – Viga de Timoshenko deformada (REDDY, 2006).

A partir dessas considerações, a cinemática de Timoshenko é escrita da seguinte forma

$$u(x, y, z) = -z\Psi(x) = -z\left(-\phi(x) + \frac{dw(x)}{dx}\right) \quad (1)$$

$$w(x, y, z) = w(x).$$

Com $w(x)$ sendo a deflexão, $\phi(x)$ a rotação devido ao cisalhamento e z a coordenada

ao longo da altura da seção.

A partir do campo de deslocamento é possível escrever os campos de deformação e de tensão apresentadas pelas equações 2 e 3, respectivamente.

$$\varepsilon_x(x, y, z) = \frac{du(x, y, z)}{dx} = -z \frac{d\Psi(x)}{dx} \quad (2)$$

$$\gamma_{xz}(x, y, z) = \frac{du(x, y, z)}{dz} + \frac{dw(x, y, z)}{dx} = \phi(x)$$

$$\sigma_x(x, y, z) = E_x \varepsilon_x(x, y, z) \quad (3)$$

$$\tau_{xz}(x, y, z) = G_{xz} \gamma_{xz}(x, y, z)$$

2.2 Camada Única Equivalente

Basicamente, como já comentado na introdução, a teoria da camada única equivalente faz um condensado dos materiais em uma única camada. Por conta dessa simplicidade, existe uma imprecisão para vigas espessas e, além disso, há falhas na descrição de tensões e deslocamentos nas interfaces das camadas, mas apresentam boa descrição para a análise global da estrutura (REDDY e ROBBINS, 1994). A geometria e a nomenclatura para as alturas das camadas de um laminado são apresentadas na figura 3.

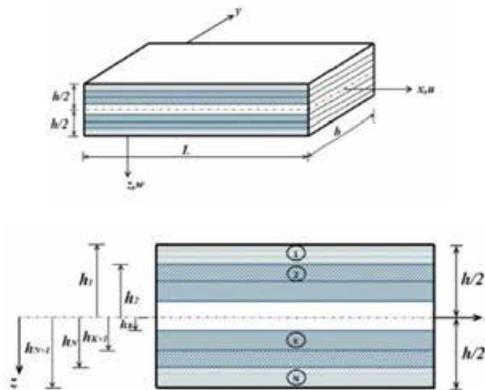


Figura 3 – Geometria e camadas de um laminado (SAYYAD E GHUGAL, 2017).

Diferentemente dos materiais isotrópicos, os materiais ortotropicos fibrosos têm propriedades mecânicas diferentes nas três direções, alterando as relações constitutivas conforme apresentado na equação 4 (Vinson, 2008).

$$\begin{aligned}
 [\sigma_x]^{(n)} &= [\overline{Q_{11}}]^{(n)} [\varepsilon_x]^{(n)}, n = 1, 2, \dots, N \text{ camadas} \\
 [\tau_{xz}]^{(n)} &= [\overline{Q_{55}}]^{(n)} [\gamma_{xz}]^{(n)}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

As relações constitutivas do conjunto de equações 4, considerando um sistema de coordenadas tridimensional de eixos 1, 2 e 3, são descritas por Vinson (2008) de tal forma que

$$\begin{aligned}
 \overline{Q_{11}} &= Q_{11} \cos^4 \theta + 2(Q_{12} + Q_{66}) \cos^2 \theta \sin^2 \theta + Q_{22} \sin^4 \theta \\
 \overline{Q_{55}} &= Q_{44} \cos^2 \theta + Q_{55} \sin^2 \theta
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Onde,

$\theta \rightarrow$ ângulo em relação com a horizontal da direção das fibras da lâmina.

$$Q_{ij} = \begin{vmatrix} \frac{(1-\nu_{23}\nu_{32})E_1}{\Delta} & \frac{(\nu_{12}-\nu_{13}\nu_{32})E_2}{\Delta} & \frac{(\nu_{13}-\nu_{23}\nu_{12})E_3}{\Delta} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{(\nu_{21}-\nu_{23}\nu_{31})E_1}{\Delta} & \frac{(1-\nu_{13}\nu_{31})E_2}{\Delta} & \frac{(\nu_{23}-\nu_{21}\nu_{13})E_3}{\Delta} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{(\nu_{31}-\nu_{21}\nu_{32})E_1}{\Delta} & \frac{(\nu_{32}-\nu_{12}\nu_{31})E_2}{\Delta} & \frac{(1-\nu_{21}\nu_{12})E_3}{\Delta} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G_3 \end{vmatrix}$$

$$\Delta = 1 - \nu_{12}\nu_{21} - \nu_{32}\nu_{23} - \nu_{13}\nu_{31} - 2\nu_{13}\nu_{32}\nu_{21}$$

e ν_{ij} são os coeficientes de Poisson.

A partir das relações tensão-deformação determinada para cada camada, pode-se escrever os esforços pela equação:

$$\begin{aligned}
 N_x &= b \sum_{n=1}^N \int_{h_n}^{h_{n+1}} [\sigma_x]^{(n)} dz \\
 V_x &= b \sum_{n=1}^N \int_{h_n}^{h_{n+1}} \kappa [\tau_{xz}]^{(n)} dz \\
 M_x &= b \sum_{n=1}^N \int_{h_n}^{h_{n+1}} z [\sigma_x]^{(n)} dz
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

A teoria de cisalhamento de primeira ordem requer um fator de correção (K) que depende da geometria da seção. As integrais da equação 6 são dependentes da cinemática adotada, o que proporciona para cada campo de deslocamento integrais distintas com

ordem diferente em termos do parâmetro da altura z . Calculados esses esforços para a cinemática de Timoshenko, é possível substituir os resultados nas equações governantes para construir a função núcleo de Green, a ser visto na sequência.

2.3 Funções de Green

As funções de Green, na matemática, são utilizadas para a resolução de equações diferenciais não-homogêneas e são definidas como uma transformada integral que objetiva simplificar equações de alta ordem em equações lineares dependentes de uma variável. A definição matemática dessas funções é (WATANABE, 2013)

$$f(x) = \int K(x, \xi) F(\xi) d\xi \quad (7)$$

onde f é uma função qualquer bem definida, K é uma função-núcleo utilizada para representar um caso unitário e F é uma função-imagem dependente da variável transformada. O uso de transformadas, como a de Laplace ou de Fourier, é muito comum para a resolução de problemas da Engenharia. Para efeito deste estudo, foi utilizada a transformada de Laplace para definir a função núcleo de Green.

A transformada de Laplace tem o objetivo de mapear uma equação diferencial não-homogênea de quarta ordem em uma equação linear dependente de uma variável s . Considerando uma função $f(t)$ qualquer que será transformada e dependente de uma variável que nunca é menor do que zero, a definição matemática da transformada de Laplace é (Sauter, Azevedo e Strauch, 2020)

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(x) e^{-sx} dx \quad (8)$$

Para representar os mais diversos carregamentos descontínuos aplicados a vigas, faz-se necessário o uso das funções delta de Dirac (δ) e Heaviside (H) que se relacionam conforme apresenta na equação 9 (Sauter, Azevedo e Strauch, 2020)

$$\frac{dH(\xi, x)}{dx} = \delta(\xi, x) \quad (9)$$

Seja uma viga compósita laminada submetida a uma força unitária arbitrária aplicada em um ponto ξ , de tal forma que tanto a seção analisada quanto a força concentrada variam ao longo do comprimento (L) da viga, na direção do eixo x (ver Figura 4).

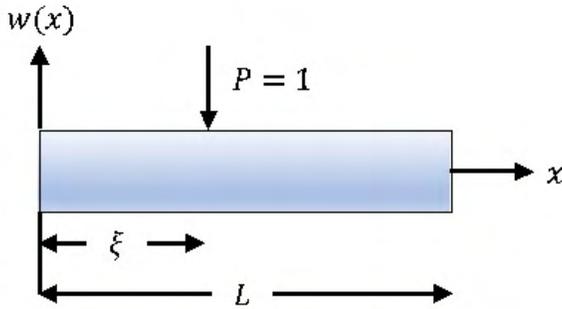


Figura 4 – Viga em um estado unitário de descontinuidade (AUTORAL, 2019).

Com base no sistema de coordenadas da figura 4 e na cinemática de Timoshenko (Equação 1), é aplicado o princípio dos trabalhos virtuais para desenvolver as equações que descrevem o problema (Equação 10).

$$\begin{aligned} \frac{d^2 N_x}{dx^2} &= 0 \\ \frac{dV_x}{dx} &= -q(x) \\ \frac{dM_x}{dx} &= V_x \end{aligned} \quad (10)$$

Substituindo a equação 4 nas integrais do conjunto de equações 6 e, na sequência, aplicando esse resultado na equação 10, tem-se

$$\begin{aligned} A_z \frac{d^2 \Psi}{dx^2} &= 0 \\ B_0 \frac{d}{dx} \left(\Psi - \frac{dw}{dx} \right) &= q(x) \\ \frac{d}{dx} \left(A_{zz} \frac{d\Psi}{dx} \right) &= B_0 \left(\Psi - \frac{dw}{dx} \right) \end{aligned} \quad (11.1)$$

com,

$$\begin{aligned} A_z &= b \sum_{n=1}^N \int_{h_n}^{h_{n+1}} z [Q_{11}]^{(n)} dz \\ B_0 &= b \sum_{n=1}^N \int_{h_n}^{h_{n+1}} \kappa [Q_{55}]^{(n)} dz \\ A_{zz} &= b \sum_{n=1}^N \int_{h_n}^{h_{n+1}} z^2 [Q_{11}]^{(n)} dz \end{aligned} \quad (11.2)$$

Inicialmente o conjunto de equações 11 é condensado de forma que relacione a deflexão apenas ao carregamento externo. Para isso, a terceira expressão, presente na Equação 11.1, é derivada uma vez e substituída na segunda expressão da equação de

Eq. 11.1. Na sequência, o resultado é substituído na expressão da segunda derivada da equação 2, de Eq. 11.1, e assim, escreve-se a equação 12.

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = -\frac{1}{B_0} \frac{d^2 q(x)}{dx^2} + \frac{1}{A_{zz}} q(x) \quad (12)$$

Uma vez que apenas uma carga concentrada atua ao longo da extensão da viga é possível representá-la através da função Delta de Dirac, assim, a equação 12 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = \frac{1}{B_0} \frac{d^2 \delta(x-\xi)}{dx^2} - \frac{\delta(x-\xi)}{A_{zz}} \quad (13)$$

Assim, com o uso da transformada de Laplace, obtém-se uma equação diferencial de quarta ordem que resulta na deflexão total da viga. Substituindo $f(x)$ por $w(x)$ na equação 8, tem-se:

$$s^4 W(S) - s^3 w(0) - s^2 w'(0) - s w''(0) - w'''(0) = \frac{s^2 e^{-s\xi}}{B_0} - \frac{e^{-s\xi}}{A_{zz}} \quad (14)$$

$$W(S) = \frac{w(0)}{s} + \frac{w'(0)}{s^2} + \frac{w''(0)}{s^3} + \frac{w'''(0)}{s^4} + \frac{e^{-s\xi}}{s^2 B_0} - \frac{e^{-s\xi}}{s^4 A_{zz}}$$

A equação 14 representa a função de deflexão da viga (Figura 4), no entanto a mesma está no domínio "S", por conta da integração da transformada de Laplace. Para apresentar essa expressão no domínio de interesse ($x \in (0, L)$ e $\xi \in (0, L)$), é preciso realizar o procedimento inverso da integração de Laplace, mostrado na equação 15. Observa-se que os termos da equação abaixo são dependentes da posição de interesse (x) e da localização em que a carga unitária é colocada (ξ).

$$g(x, \xi) = w(0) + w'(0)x + \frac{w''(0)x^2}{2} + \frac{w'''(0)x^3}{6} + \frac{(x-\xi)}{B_0} H(x-\xi) - \frac{(x-\xi)^3}{6A_{zz}} H(x-\xi) \quad (15)$$

Uma vez obtida a forma da função $g(x, \xi)$, a depender das condições de contorno é construída diferentes funções núcleo. Assim, conhecendo-se a função que descreve o carregamento $q(\xi)$, é possível determinar a deflexão total da viga através da função de Green aplicado na Equação 7, como mostrado abaixo.

$$w(x) = \int_0^L g(x, \xi) q(\xi) d\xi \quad (16)$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para entender as potencialidades do método, foi realizado uma série de exemplos comparados com referências consolidadas. Como referência analítica foram utilizados

os trabalhos de Reddy(1994) e Pagano (1969). Para a referência numérica foi utilizado o método dos elementos finitos. Neste último caso, foram utilizados 8 elementos com 3 nós cada, denominado por TIM 8 elementos. E para a integração numérica foi utilizada a integração reduzida com objetivo de evitar o travamento por cisalhamento (shear locking).

Nos exemplos apresentados abaixo, uma viga simplesmente apoiada formada por três lâminas com direções das fibras em $0^0/90^0/0^0$ foi considerada. Nestes exemplos as condições de contorno $w(0)=w''(0)=w(L)=w''(L)=0$ são aplicadas na equação 15 para desenvolver a função núcleo de Green abaixo

$$g(x, \xi) = \frac{(x-\xi)}{B_0} H(x-\xi) - \frac{(L-\xi)x}{B_0 L} - \frac{(x-\xi)^3}{6A_{zz}} H(x-\xi) + \frac{[(L-\xi)x^3 - (2L^2\xi - 3L\xi^2 + \xi^3)x]}{6A_{zz}L}. \quad (17)$$

3.1 Exemplo 1

O primeiro caso estudado é referente a uma viga submetida a carregamento uniformemente distribuído cujo valor, características geométricas e propriedades dos materiais são apresentadas na figura 5. Aplicando a expressão do carregamento e a equação 17 na integral da equação 16, pode-se escrever a expressão da deflexão:

$$w(x) = \frac{q_0 L^4}{24A_{zz}} \left[-\left(\frac{x}{L}\right)^4 + 2\left(\frac{x}{L}\right)^3 - \left(\frac{x}{L}\right) \right] - \frac{q_0 L^2}{2B_0} \left[\left(\frac{x}{L}\right) - \left(\frac{x}{L}\right)^2 \right] \quad (17)$$

A Figura 6 apresenta a concordância entre os resultados pelo método de Green e a solução analítica de Reddy (1994).

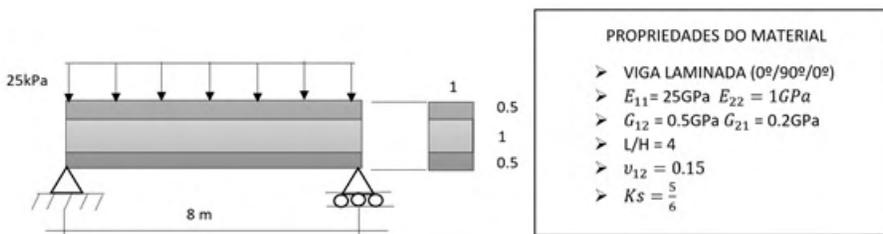


Figura 5 – Viga simplesmente apoiada e laminada com carregamento distribuído (AUTORAL, 2020).

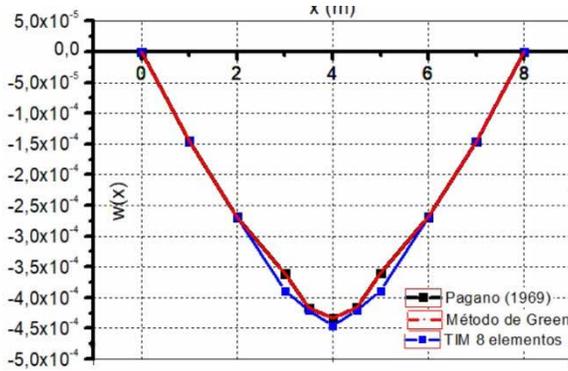


Figura 6 – Gráfico de deflexão por comprimento da viga do exemplo 1 (AUTORAL, 2020).

3.2 Exemplo 2

Neste exemplo uma viga, com características geométricas e propriedades dos materiais apresentadas na figura 7, é submetida a um carregamento descrito por uma função senoidal. Aplicando a expressão do carregamento e a equação 17 na integral da equação 16, pode-se escrever a expressão da deflexão:

$$w(x) = -\frac{q_0 \text{sen}\left(\frac{\pi(x)}{L}\right) L^4}{A_{zz} \pi^4} - \frac{q_0 \text{sen}\left(\frac{\pi(x)}{L}\right) L^2}{B_0 \pi^2} \quad (18)$$

A Figura 8 apresenta a concordância entre os resultados pelo método de Green e a solução analítica de Pagano (1969).

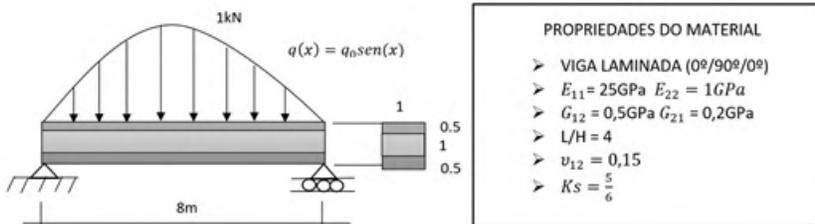


Figura 7 – Viga simplesmente apoiada e laminada com carregamento senoidal (AUTORAL, 2020).

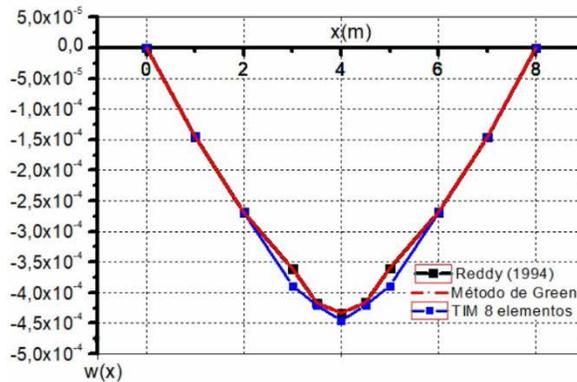


Figura 8 – Gráfico de deflexão por comprimento da viga do exemplo 2 (AUTORAL, 2020).

3.3 Exemplo 3

Por fim, utilizando a mesma estrutura supracitada, a função de carregamento foi alterada novamente para um carregamento complexo e assimétrico. Neste exemplo, os resultados foram comparados com o Método dos Elementos Finitos com 20 elementos e grau de aproximação quadrático por elemento. As propriedades dos materiais e as características geométricas com $h_1 = 0.5m$, $h_2 = 1m$, $h_3 = 0.5m$ são apresentadas na figura 9.

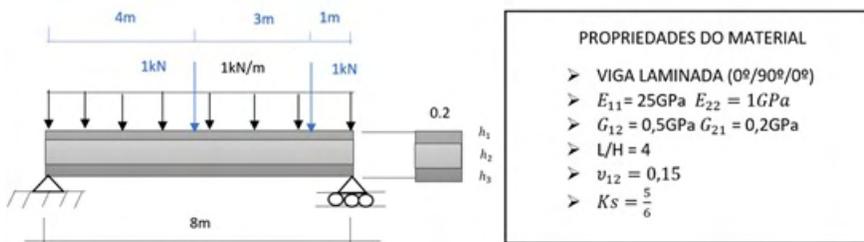


Figura 9 – Viga simplesmente apoiada e laminada com carregamento complexo (AUTORAL, 2020).

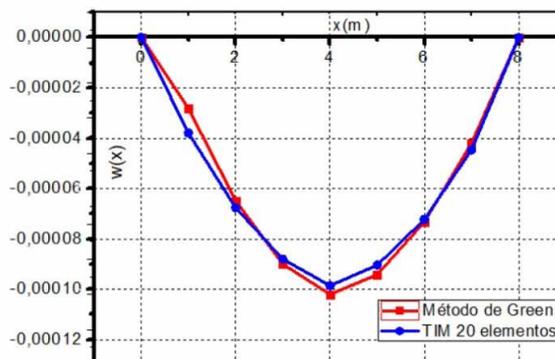


Figura 10 – Gráfico de deflexão por comprimento da viga do exemplo 3 (AUTORAL, 2020).

4 | CONCLUSÃO

Conforme apresentado, a metodologia para resoluções por funções de Green mostraram resultados de deflexão concordantes com os de referência. O desenvolvimento dos núcleos de Green necessitam conceitos matemáticos um pouco elaborado, tal como transformada de Laplace, no entanto, uma vez desenvolvida a expressão geral de Green é possível resolver uma gama enorme de problemas desde que apresentadas as condições de contorno e carregamento. A partir dos resultados de deflexão e da cinemática da teoria de vigas utilizadas, são calculados tensões, deformações e deslocamentos, sendo sua precisão a mesma obtida pela teoria a qual o método é incorporado. É possível aplicar em diversas cinemáticas, tipos de vigas e materiais (desde isotrópicas até laminadas ortotrópicas). Por conta disso, nota-se sua viabilidade na resolução de problemas mais complexos que são incomuns na literatura, pela simplicidade da metodologia de cálculo.

REFERÊNCIAS

AVERILL, R.C. **Static and Dynamic Response of Moderately Thick Laminated Beams with Damage**, Composites Engineering, 4(4): 381–395, 1994

AZEVEDO, Álvaro F. M. **MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**. Primeira edição pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. Abril, 2003.

DA CUNHA, R. D.; **Programação científica em FORTRAN 95**, 2ª edição revisada e ampliada. Clube de autores, 2011.

DI SCIUVA, M. **A Refined Transverse Shear Deformation Theory for Multilayered Anisotropic Plates**, *Atti Accademia delle Scienze di Torino*, 118: 279–295, 1984.

DI SCIUVA, M. **A Refinement of the Transverse Shear Deformation Theory for Multilayered Orthotropic Plates**, Proceedings of 7th AIDAA National Congress, October 1983, also published in *L'aerotecnica missili e spazio*, 62: 84–92, 1984

DI SCIUVA, M.; GHERLONE, M. **Refinement of Timoshenko Beam Theory for Composite and Sandwich Beams Using Zigzag Kinematics**. Department of Aeronautics and Space Engineering Politecnico di Torino, Torino, Italy, 2007

DRIEMEIER, L. **Integração numérica**. Departamento de engenharia mecatrônica, USP.

FARIA, A. W.; **Modelagem por elementos finitos de placas compostas dotadas de sensores e atuadores piezoelétricos: implementação computacional e avaliação numérica**. Universidade Federal de Uberlândia, 2006

JONES, R. M; MILLARD R. **Mechanics of composite materials** / Robert M. Jones. Second Ed. p. cm

LAMBERS, J. **Hermite Interpolation**. p. 1–7, 2010-2011.

LIU, D.; LU, X. **An Interlaminar Shear Stress Continuity Theory for Both Thin and Thick Composite Laminates,**” *Computers and Structures*, 42(1): 9-78, 1992

ONATE, E. **Structural Analysis with the Finite Element Method.** Linear Statics. 1. ed. Barcelona: Springer, 2013. v. 2.

PAGANO, N. J., **Exact solution for composite laminates in cylindrical bending,** *J. Compos. Mater.*, vol. 3, 1969, 398–411.

POZRIKIDIS, C. **Introduction to Finite and Spectral Element Methods Using Matlab.** Chapman & Hall/CRC, 2005.

REDDY, J. N.; **An Introduction to the Finite Element Method.** Third Ed. Departamento f Mechanical Engineering Texas A&M University. 2006.

REDDY, J. N. and Robbins, D.H. Jr. **Theories and computational models for composite laminates.** *Applied Mechanics Review*, 47(6), 147-167, 1994.

SAUTER, E. AZEVEDO, F. S. STRAUCH I. M. F. **Transformada de Laplace: um livro colaborativo.** UFRGS. 2020.

SAYYAD, A. S. **Comparison of various refined beam theories for the bending and free vibration analysis of thick beams.** *Applied and Computational Mechanics*, 2011.

SAYYAD, A. S.; GHUGAL, Y. M. **Bending, buckling and free vibration of laminated composite and sandwich beams: A critical review of literature.** *Composite Structures*, v. 171, n. October, p. 486–504, 2017.

STEWART, James. **Cálculo.** Sétima edição. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

TESSLER, A.; DI SCIUVA, M.; GHERLONE, M. **Refined Zigzag Theory for Laminated Composite and Sandwich Beams Using ZigZag Kinematics.** NASA Langley Research Center, Hampton, VA, 2007.

TIMOSHENKO, S. P.; GERE, J. E. **Mechanics of Materials.** Volume 1. Pws Pub Co, 1998.

TIMOSHENKO, S.; GOODIER, J. N. **Theory of Elasticity.** Second Ed. New York, 1951.

VINSON, J. R.; SIERAKOWSKI, R. L. **The Behavior of Structures Composed of Composite Materials.** Second Ed. Ontario, 2008

WATANABE, K. **Integral Transform Techniques for Green’s Fuction.** Volume 71. F. Pfeiffer, Garching, Germany P. Wriggers, Hannover, Germany, 2013

CAPÍTULO 11

ESTRATÉGIAS INOVADORAS PARA PESQUISAS DE EVAPORAÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS SUPERFICIAIS NO NORDESTE BRASILEIRO

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 20/07/2021

Bárbara Hillary de Almeida Pinto

Bacharelado em Ciências e Tecnologia - Escola de Ciências e Tecnologia
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRN
Natal - Rio Grande do Norte
<http://lattes.cnpq.br/8758145955384877>

Cecília Roberta Barbosa da Silva

Bacharelado em Ciências e Tecnologia - Escola de Ciências e Tecnologia
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRN
Natal - Rio Grande do Norte
<http://lattes.cnpq.br/2363107765012986>

Maria Eduarda Medeiros Monteiro

Bacharelado em Ciências e Tecnologia - Escola de Ciências e Tecnologia
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRN
Natal - Rio Grande do Norte
<http://lattes.cnpq.br/5553786590469039>

Heloyza Helena Nunes de Oliveira

Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação - PPGCTI
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRN
Natal - Rio Grande do Norte
<http://lattes.cnpq.br/6054531286949453>

Efrain Pantaleón Matamoros

Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação - PPGCTI
Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRN
Natal - Rio Grande do Norte
<http://lattes.cnpq.br/5336356193599447>

RESUMO: A evaporação de águas superficiais é um fenômeno natural que acarreta impactos na sociedade e na economia de determinados locais, afetando, principalmente, as áreas áridas do globo terrestre, como é o caso do Nordeste brasileiro. Por trazer prejuízos socioeconômicos à população, esse processo deve ser controlado e minimizado. Diante deste contexto, a presente pesquisa objetiva analisar os estudos acerca dos reservatórios superficiais do semiárido nordestino do Brasil, e verificar as tecnologias disponíveis para redução da evaporação, tanto em nível científico como em nível mercadológico. Através de avaliações criteriosas dos acervos referenciais-teóricos e técnicos disponíveis, verificou-se que apesar de haver pesquisas e tecnologias disponíveis no campo científico, estas não são aplicadas no mercado devido a inúmeros fatores que limitam as pesquisas no campo da gestão dos recursos hídricos no Brasil. Dessa forma, percebe-se que essa atual situação compromete o desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida da população do semi-árido nordestino.

PALAVRAS-CHAVE: Evaporação; Nordeste; Reservatórios Superficiais.

INNOVATIVE STRATEGIES FOR EVAPORATION SURVEYS OF WATER IN SURFACE RESERVOIRS IN NORTHEAST BRAZIL

ABSTRACT: The evaporation of surface water is a natural phenomenon that impacts society and the economy of local places, affecting mainly the arid areas of the globe, as is the case of the Brazilian Northeast. As it brings socioeconomic damage to the population, this process must be controlled and minimized. Given this context, this research aims to analyze studies on surface reservoirs in the semi-arid northeast of Brazil, and verify the technologies available to reduce evaporation, both at the scientific level and at the market level. Through evaluations of criteria from the available theoretical and technical reference collections, it was found that although there are researches and technologies available in the scientific field, these are not applied in the market due to numerous factors that limit research in the field of water resources management in Brazil. Thus, it is clear that this current situation compromises the economic development and improvement of the quality of life of the population in the semi-arid region of the Northeast.

KEYWORDS: Evaporation; Northeast; Surface Reservoirs.

1 | INTRODUÇÃO

A água é o recurso essencial para a manutenção da vida e sobrevivência dos seres vivos na terra, assim como é fundamental para o desenvolvimento da economia de determinada região (LIMA, 2018), no entanto, a sua distribuição pelo planeta é irregular, o que facilita ou dificulta o acesso aos recursos hídricos em determinados locais. Além disso, as mudanças climáticas, ocorrência de secas prolongadas ou fenômenos físicos naturais, como a evaporação, podem limitar o uso desses recursos, afetando o desenvolvimento socioeconômico regional.

Segundo Nys, Engle e Magalhães (2016), o Nordeste do Brasil é uma região que cada vez mais está sujeita aos impactos exacerbadores das mudanças climáticas e, historicamente, apresenta quadros de seca e de escassez de água, que contribuem para a desertificação, o sobrepastoreio, o aumento da frequência de incêndios, o desmatamento e/ou extração exagerada das águas subterrâneas. O semiárido (ou sertão) nordestino é a região mais afetada pelas frequentes secas no Nordeste e comumente sofre com os déficits hídricos (NYS; ENGLE; MAGALHÃES, 2016). O quadro de seca provoca a redução da disponibilidade hídrica e afeta a manutenção dos usos da água, em especial, para o abastecimento público, a irrigação e a geração hidrelétrica (GONDIM et al., 2017). Portanto, percebe-se que, segundo Lima (2018), o crescente aumento desse tipo de incidência em uma determinada região tem influência direta na economia e na saúde da população local.

Diante deste contexto, Gugliotti (2015) afirma que fatores geográficos e econômicos levaram as sociedades a usar reservatórios a céu aberto, como lagos, açudes e represas, para acumular água doce para diversos usos. Tradicionalmente, os açudes e poços do Nordeste brasileiro foram construídos visando principalmente ao abastecimento das populações e dos rebanhos (REBOUÇAS, 1997). Segundo Suassuna (2002, apud

HELFER et al., 2018), estima-se que o semiárido brasileiro perde cerca de 40% das águas acumuladas nestes reservatórios por evaporação.

Gondim et al. (2017) afirmam que o semiárido nordestino apresenta índices pluviométricos anuais reduzidos (inferiores a 800 milímetros), vegetação de caatinga, embasamento cristalino e solos geralmente rasos. Caracteriza-se, ainda, por apresentar temperaturas elevadas durante todo ano, baixas amplitudes térmicas, forte insolação e altas taxas de evapotranspiração. Todos esses fatores climáticos estão associados à significativa redução dos níveis de água nesses reservatórios superficiais, impactando negativamente no nível de suprimento hídrico para o Nordeste brasileiro.

O objetivo do presente estudo, portanto, é analisar os estudos disponíveis acerca da evaporação de água nos reservatórios superficiais do semi-árido nordestino do Brasil sob a perspectiva científica, tecnológica e mercadológica, visando verificar as ações mitigadoras e as tecnologias disponíveis para redução desse fenômeno, de forma a ampliar a disponibilidade hídrica para a região.

2 | METODOLOGIA

O desenvolvimento do presente estudo avaliou como se dá o processo de evaporação em reservatórios superficiais, suas principais causas e suas consequências socioeconômicas e de que forma atingem o Nordeste brasileiro. Através de sucessivas consultas em acervos científicos-tecnológicos, verificaram-se as ações mitigadoras, tecnologias e inovações disponíveis para reduzir a evaporação, e sua aplicação e comercialização nos mercados nacional e internacional. Também foi realizada prospecção tecnológica em banco de dados gratuitos de patentes para avaliação das tecnologias disponíveis na área.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente estudo se enquadra no campo científico-tecnológico da engenharia sanitária, especificamente quanto ao planejamento integrado dos recursos hídricos. Para entendimento desse campo no contexto brasileiro, serão apresentadas a prospecção científica-tecnológica dos estudos e patentes acerca do tema, análise mercadológica de uma das tecnologias utilizadas para minimizar a evaporação no contexto do semi-árido nordestino, e por fim, a discussão de estratégias de inovação para potencializar a difusão e impacto das tecnologias sendo desenvolvidas.

3.1 Prospecção Científica-Tecnológica

De acordo com Pandit (2003), no setor de engenharia de recursos hídricos, as atividades de pesquisa e desenvolvimento – P&D – não geram o mesmo nível de estímulo e desafios que ocorrem em outros setores. Segundo este autor, esse problema não parece

se dar pela limitação de recursos financeiros, mas sim pelo baixo potencial de geração de patentes e lucros e, dessa forma, o setor privado não se interessa por P&D na área de engenharia de recursos hídricos. Pandit (2003) afirma ainda que a pesquisa feita pelas universidades é extremamente teórica e há uma marcante falta de criatividade e ideias inspiradoras para P&D, além de que os possíveis usuários não têm sido envolvidos no planejamento.

Na prospecção de patentes, realizada no banco de dados gratuitos da Espacenet, podemos observar que o país líder tecnologias aplicadas à evaporação em reservatórios superficiais são os Estados Unidos, com 11 das 39 patentes registradas. O maior interesse do país no desenvolvimento de tecnologias provavelmente se dá devido aos eventos de estiagens prolongadas pelos quais o país passa, prejudicando as plantações e restringindo o abastecimento.

Os resultados encontrados se apresentam nas Figuras 2 e 3 abaixo. No mapa da Figura 2, a cor verde indica o maior número de patentes registradas e os tons mais escuros do vermelho indicam menor número de registros de patentes.

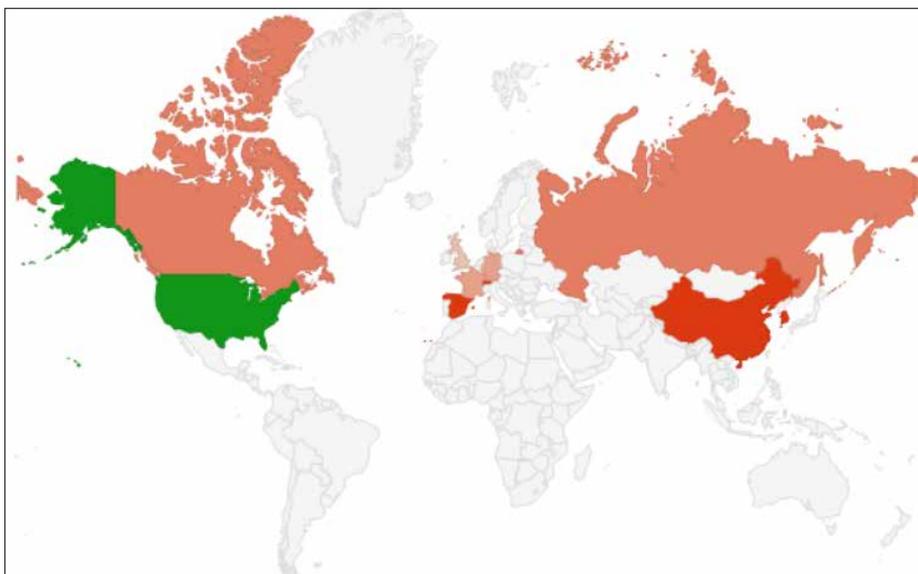


Figura 2 - Mapa mundial indicando registro de patentes acerca de evaporação em reservatórios por país.

Fonte: Adaptado de Espacenet, 2019.

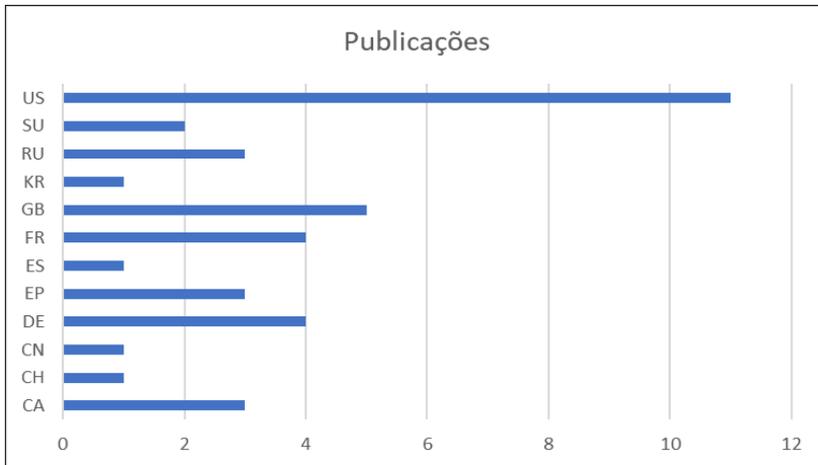


Figura 3 - Gráfico indicando registro de patentes acerca de evaporação em reservatórios por País.

Fonte: Adaptado de Espacenet, 2019.

A seguir, está apresentada uma linha do tempo evidenciando a produção intelectual quanto ao registro de patentes resultante das tecnologias desenvolvidas pelos estudos de evaporação em reservatórios.



Figura 4 - Linha do tempo de produção intelectual - Patentes acerca de evaporação em reservatórios.

Fonte: Adaptado de Espacenet, 2019.

Gugliotti (2015) afirma que na década de 1950 os testes de campo iniciados pelos australianos para o uso dos filmes monomoleculares receberam foco da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO –, a qual incorporou

essa tecnologia em seu Programa Zona Árida e financiou estudos em outros países. Esse fato provavelmente contribuiu para aumento no número de pesquisas e desenvolvimento de tecnologias e produtos inovadores visando à redução da evaporação em reservatórios, no entanto não é o que se observa no gráfico da Figura 4 acima, onde se percebe uma linearidade e constância na produção intelectual ao longo do tempo.

Também se analisou a produção intelectual quanto ao registro de patentes na América Latina através da base de dados gratuita da LATIPAT – Espacenet. O único país latino-americano com patentes em relação a pesquisas na área de evaporação em reservatórios superficiais é o Chile, cuja publicação foi realizada em 2019, e trata de um modelo de cobertura modular para prover sombra e evitar evaporação dos reservatórios.

No Brasil, nos últimos 5 anos, o interesse pelo assunto “evaporação” teve uma demanda bastante variável, tanto temporalmente como regionalmente, conforme mostra-se a seguir. O ano com maior interesse de pesquisa foi 2019 (Figura 5) e o estado que mais pesquisou sobre o assunto foi Roraima, no norte do país.

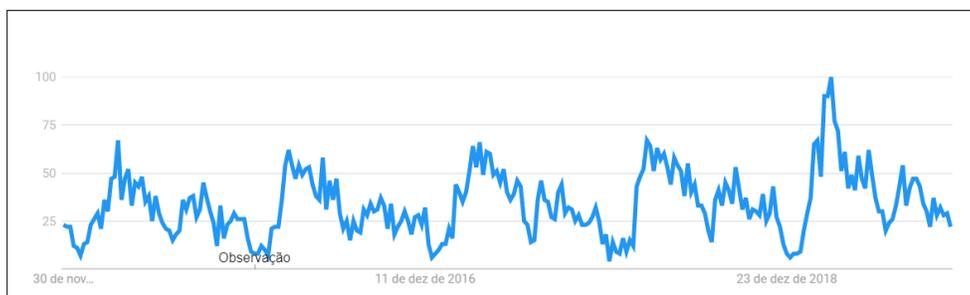


Figura 5 - Linha do tempo de pesquisas no Brasil acerca de evaporação nos últimos cinco anos.

Fonte: Google Trends, 2019.

3.2 Estudo de Caso: Uso dos Filmes Monomoleculares Em Pó

A redução nas taxas de evaporação mantém o nível de água nos reservatórios aumentando sua sobrevida em períodos de estiagem e, por isso, segundo Gugliotti (2015), deve ser uma prática comum de controle de perdas de água nas políticas de gestão dos recursos hídricos, devendo ser adotada independentemente da ocorrência de secas.

Diversos métodos são usados para reduzir a evaporação de reservatórios, sendo as técnicas baseadas na redução da superfície exposta, diminuição da temperatura da água, diminuição do efeito do vento, entre outros. Os métodos mais comuns, segundo Gugliotti (2015), são aqueles baseados na cobertura da água com lonas e placas flutuantes ou na instalação de quebra-ventos e dispositivos para sombreamento. Entretanto, tais métodos apresentam diversas limitações, entre elas o custo, e são viáveis apenas para pequenos reservatórios.

Um dos métodos para diminuir as taxas de evaporação em reservatórios consiste na colocação de filmes monomoleculares na superfície da água, os quais reduzem a exposição da área superficial da água exposta ao vento e à luz solar, dois dos fatores que mais influenciam no aumento da evaporação. Segundo Gugliotti (2015), esse método obteve um resultado de 50% de redução da evaporação de água e não afetou sua qualidade.

No Brasil, de acordo com Gugliotti (2015), foi desenvolvida uma nova composição formadora de filmes monomoleculares que se apresenta na forma de um pó fino, com granulometria controlada, que emprega uma mistura de álcoois graxos associada a um veículo inerte (calcário agrícola). De acordo com o autor, no desenvolvimento desse produto, a escolha dos componentes considerou critérios de eficiência, impacto ambiental, custo e disponibilidade, e na sua aplicação foram realizados, além dos testes de eficiência na redução da evaporação, testes ecotoxicológicos e de impacto ambiental. Também foi avaliado o comportamento do filme em função da velocidade do vento atuante. Todos os resultados ficaram dentro do esperado quando comparados com os testes reportados na literatura, e detalhes do projeto foram apresentados em congressos, obtendo boa aceitação (GUGLIOTTI, 2015).

Este autor cita que dentre as principais vantagens destacam-se o espalhamento mais eficiente sobre a superfície da água e toxicidade menor do que a de produtos similares em uso no exterior. O produto promove reduções na evaporação entre 20 e 30%, e seu custo é bastante competitivo quando comparado a produtos internacionais [...] (GUGLIOTTI, 2015).

Ainda segundo este autor, o projeto para desenvolvimento desse produto recebeu financiamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e contou com apoio de laboratórios do Instituto de Química da USP. O projeto foi concluído com sucesso em 2007 e já é patenteado. No entanto, segundo Gugliotti (2015), há busca de parceria comercial para inicialização do processo de fabricação e venda do produto.

3.3 Estratégias de Inovação Para Potencializar a Difusão e Impacto das Tecnologias de Redução da Evaporação Em Reservatórios

Segundo Perez e Soete (1988), catching up são produtos que movimentam o capital internacional e transferem tecnologia, geram capacitação e aprendizagem local, aumentam a produtividade e as inovações. Diante disso, em se tratando ao combate às secas, que afetam toda a dinâmica econômica regional, no Brasil as estratégias governamentais sempre se voltaram essencialmente às políticas reativas e respostas emergenciais aos efeitos adversos das secas, não fornecendo espaço e tempo suficientes para produções intelectuais e inovações a curto prazo. No entanto, atualmente se tem um dos principais pilares de preparação para os eventos de estiagens: o monitoramento.

De acordo com Nys, Engle e Magalhães (2016), com a assistência técnica do Banco Mundial, foi realizado um processo de articulação, capacitação e implementação de uma

política nacional de secas. O seu primeiro grande resultado foi a concepção de um modelo que se assemelha ao do México e dos Estados Unidos, nos quais faz-se um mapa mensal para aumentar a eficiência dos mecanismos contra as secas, e chama-se Monitor de Secas do Nordeste. O Monitor de Secas é, portanto, um mecanismo que é gerido pelas instituições de clima e dos setores de recursos hídricos e agricultura, junto à Agência Nacional de Águas.

Para evitar que pesquisas na área de engenharia de recursos hídricos não sejam privadas de aplicar sua tecnologia, caindo no “vale da morte” antes de se inserirem no mercado, é necessária a utilização de estratégias de inovação.

O uso de laboratórios abertos como estratégia de transbordamento científico. Esses laboratórios são ambientes de aprendizagem com equipe multidisciplinar e infraestrutura de acesso livre para auxiliar inventores, empreendedores e startups a desenvolverem, de maneira colaborativa, produtos, processos e negócios inovadores, de forma que possa se desenvolver o que seja de utilidade para as empresas. Que podem ser agrícolas ou de abastecimento de água que, através da redução das perdas de água por evaporação, podem ter seus lucros maximizados.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise técnica, científica e mercadológica das tecnologias disponíveis para redução da evaporação em reservatórios superficiais, percebe-se que há baixo potencial de geração de patentes e lucros devido ao alto nível teórico das pesquisas e à baixa produção de inovações tecnológicas. Portanto, o setor privado não se interessa por P&D na área de engenharia de recursos hídricos. Sendo assim, tornam-se necessárias a aplicação de políticas e instituição de estratégias de transbordamento científico nessa área. Também pode-se perceber que o país líder no mercado não é o país líder na produção intelectual, devido a inúmeros fatores, como, por exemplo, os incentivos para pesquisa e desenvolvimento e as condições climáticas regionais.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas. **Quantidade de água**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/quantidade-da-agua>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

ASSUNÇÃO, Luiz Márcio; LIVINGSTONE, Ian. **Desenvolvimento inadequado: construção de açudes e secas no sertão do Nordeste**. 1993. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rbe/article/viewFile/582/7932>>. Acesso em: 25 set. 2019.

CAMPOS, José Nilson B.. **Água, sociedade e natureza: desenvolvimento científico e gestão de águas**. 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Jose_Nilson_Campos/publication/296196021_Agua_sociedade_e_natureza_desenvolvimento_cientifico_e_gestao_de_aguas/links/56d3431908ae059e376124f4.pdf#page=35>. Acesso em: 27 ago. 2019.

COSTA, Eckhard Mozart Bezerra da. **A influência da morfometria dos reservatórios superficiais nas perdas por evaporação no semiárido potiguar**. 2018. Disponível em: <<https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/25292>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

ESPAENET. **Evaporation tanks**. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/patent/search?q=ti%20all%20%22evaporation%20tanks%22>>. Acesso em: 27 nov. 2019.

GONDIM, Joaquim et al. **A seca atual no Semiárido nordestino – Impactos sobre os recursos hídricos**. 2017. Disponível em: <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/856/784>. Acesso em: 23 set. 2019.

GOOGLE TRENDS. **Evaporação**. 2019. Disponível em: <<https://trends.google.com.br/trends/explore?date=today%205-y&geo=BR&q=evapora%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 17 nov. 2019.

GUGLIOTTI, Marcos. **Redução da evaporação em reservatórios por filmes superficiais**. 2015. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/9031-noticias>>. Acesso em: 24 set. 2019.

HELPER, Fernanda et al. **ESTUDO COMPARATIVO DE TRÊS MECANISMOS DE REDUÇÃO DE EVAPORAÇÃO DE RESERVATÓRIOS**. 2018. Disponível em: <<https://bu.furb.br/ojs/index.php/real/article/view/7076/4269>>. Acesso em: 26 set. 2019.

LATIPAT ESPAENET . **Evaporación reservorios**. Disponível em: <https://lp.espacenet.com/searchResults?submitted=true&locale=es_LP&DB=lp.espacenet.com&ST=advanced&TI=evaporaci%C3%B3n+reservorios&AB=&FTXT=&PN=&AP=&PR=&PD=&PA=&IN=&CPC=&IC=>>. Acesso em: 23 nov. 2019.

LIMA, Joana Suelânia da Silva. **CONSEQUÊNCIAS AMBIENTAIS E ECONÔMICAS UTILIZANDO A TÉCNICA SHADE BALLS PARA A REDUÇÃO DA EVAPORAÇÃO EM RESERVATÓRIOS DE ÁGUA NO AGRESTE PERNAMBUCANO**. 2018. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Tabosa de Almeida, Caruaru, 2018. Disponível em: <<http://200-98-146-54.clouduoel.com.br/bitstream/123456789/1682/1/TCC%20JOANA%20FINAL%20CORRECAO%20FINAL.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2019.

MOURA, Magna Soelma Beserra de et al. **Clima e água de chuva no Semi-Árido**. 2007. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/159649/1/OPB1515.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2019.

NYS, Erwin de; ENGLE, Nathan L.; MAGALHÃES, Antonio Rocha (Org.). **Secas no Brasil: Política e gestão proativas**. 2016. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/seca_brasil-web.pdf>. Acesso em: 24 set. 2019.

PANDIT, Chetan. **UM NOVO PARADIMA PARA P&D EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS (ERH)**. 2003. Disponível em: <http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/pdf/D%20em%20engenharia%20de%20recursos%20h%EEdricos_1mar04_b.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2019.

PEREZ, C. SOETE, L. **“Catching up in technology: entry barriers and Windows of opportunity”**. In: DOSI, G. et. al. Technical change and economic theory. Pisa: Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant’Anna School of Advanced Studies, 1988.

PIRES, Ana Paula Novais. **CERCAS E SECAS: REFLEXÕES SOBRE A ÁGUA NO NORDESTE SEMI-ÁRIDO**. 2012. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/jtrab/n1/02.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2019.

PORTO, Everaldo Rocha. **UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS FLUTUANTES NO CONTROLE DA EVAPORAÇÃO NO TRÓPICO SEMI-ÁRIDO (TSA)**. 1986. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/14638/8332>>. Acesso em: 27 set. 2019.

REBOUÇAS, Aldo da C.. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. 1997. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40141997000100007>. Acesso em: 23 set. 2019.

SABINO, Sylvia Thereza Bené de Oliveira. **Programas emergenciais de combate aos efeitos da seca no Nordeste: o que mudou na década de 90? 2002**. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/7906/1/arquivo8008_1.pdf>. Acesso em: 02 out. 2019.

TOLEDO, Pedro Henrique Vieira Martins. **O GTDN E A SUDENE DE FURTADO NO DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO NORDESTE: CONCEPÇÃO E REALIDADE**. 2013. Disponível em: <<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/1718/1/PHVMToledo.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2019.

VELHO, Sérgio Roberto Knorr et al. **Nível de Maturidade Tecnológica: uma sistemática para ordenar tecnologias**. 2017. Disponível em: <http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/867/793>. Acesso em: 18 nov. 2019.

AMBIÊNCIA E ENTORNO: INTERAÇÕES SOCIOESPACIAIS ENTRE IDOSOS MORADORES DE UM CONDOMÍNIO E A VIZINHANÇA

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 05/07/2021

Luzia Cristina Antoniossi Monteiro

Docente Associada, Departamento de Gerontologia - Universidade Federal de São Carlos/UFSCar
São Carlos/SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2890278808923978>

Vania Aparecida Gurian Varoto

Docente Associada, Departamento de Gerontologia - Universidade Federal de São Carlos/UFSCar
São Carlos/SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7449531039410521>

Lucas Bueno de Campos

Bacharel em Gerontologia - DGERO/UFSCar,
Mestre em Gerontologia - PPGGERO -
Universidade Federal de São Carlos/UFSCar.
Atualmente vinculado ao “Terça da Serra Residencial Sênior”
São Paulo/SP
<http://lattes.cnpq.br/0488541659728913>

Ingrid Bernardinelli

Bacharela em Gerontologia - DGERO/UFSCar,
Mestre em Engenharia de Produção -
Universidade Federal de São Carlos
São Carlos/SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4387243781289309>

Gabriely Grezele

Bacharelanda em Gerontologia - DGERO/UFSCar,
Universidade Federal de São Carlos/UFSCar
São Carlos/SP, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2665368954438184>

RESUMO: O envelhecimento populacional requer novas demandas ao espaço urbano, em especial, nos lugares de moradia e seu entorno para a pessoa idosa. Deve ser acessível e funcional englobando aspectos físico, social, cultural e subjetivo, pressupostos da ambiência. Esse artigo mostra como as condições do entorno em um condomínio exclusivo para idoso de baixa renda podem definir o espaço e as relações sociais, aproximando ou afastando moradores - estabelecendo a vizinhança como espaço de (des)encontros. A pesquisa desenvolveu-se com delimitação da área geográfica considerada entorno, baseada nos preceitos da unidade de vizinhança. Realizou-se visitas ao local e entrevistas semiestruturadas com a vizinhança a fim de verificar a situação socioespacial. Desse modo, constatou-se que barreiras físicas podem impelir barreiras sociais, pois comprometem a ambiência, fragilizando as relações. Assim, é necessário pensar lugares de moradia que contemplem o entorno com experiências físicas e sensoriais que despertem a afetividade e o sentido de pertencimento.

PALAVRAS-CHAVE: Ambiência; idoso; moradia adequada; relações socioespaciais.

AMBIENCE AND SURROUNDINGS ENVIRONMENTS: SOCIO-SPATIAL INTERACTIONS BETWEEN ELDERLY RESIDENTS OF A CONDOMINIUM AND THE NEIGHBORHOOD

ABSTRACT: Population aging requires new demands on the urban, especially in places of residence for the elderly and their surroundings. It must be accessible and functional, involve

physical, social, cultural and subjective aspects, presupposed by the ambience. This article shows how the surrounding conditions in a condominium exclusive to low-income seniors can define space and social relations, bringing residents closer or further apart - establishing the neighborhood as a space for (dis)encounters. This scientific research is based on the delimitation of the geographical area considered to be the surroundings environments, based on the precepts of the neighborhood unit. A site visits and semi-structured interview with the neighborhood were carried out in order to verify the socio-spatial situation. Thus, it was found that physical barriers can lead to social barriers, as they compromise the ambience, weakening relationships. Therefore, it is necessary to think of places of residence that contemplate the surroundings too with physical and sensory experiences that awaken affection and a sense of belonging.

KEYWORDS: Ambience; elderly; adequate housing; socio-spatial relationships.

1 | ENVELHECIMENTO POPULACIONAL E NOVAS DEMANDAS

Neste início de século XXI, as sociedades se deparam com uma nova realidade demográfica: o envelhecimento populacional. Conceitualmente, o processo de envelhecimento é uma mudança na estrutura etária da população que resulta em uma maior proporção de idosos em relação a outros conjuntos da população (CAMARANO, 2011). Este fenômeno é uma realidade diversificada e complexa, cuja idiossincrasia dá-se tanto em países desenvolvidos quanto nos em desenvolvimento e ocorre, principalmente, pela redução da fecundidade, que torna os grupos etários mais jovens menos representativos na população total. (KALACHE, 1987; WHO, 2015).

Segundo informações do Banco Mundial (2011), no mundo a esperança de vida ao nascer saltou de 52,61 anos em 1960, para 69,63 anos de idade em 2010, ainda que com significativas diferenças. Nos países de baixa renda, por exemplo, a esperança de vida ao nascer, em 2010, era de 58,84 anos e, nos países de alta renda, atingiu 79,76. Projeções populacionais da ONU indicam que a esperança de vida média chegará a 76 anos entre 2045-2050, sendo que, segundo a OMS (2010), nas regiões menos desenvolvidas, pode chegar a 74 anos e, nas mais desenvolvidas, a 83 anos de idade.

De acordo com Leeson (2021) as populações da América Latina e do Caribe, com sua própria história, cultura e tradições estão começando a refletir esse envelhecimento. No Brasil, a expectativa de vida da população desde 1940, cresceu em 31,1 anos. Uma pessoa nascida no ano de 2019 tinha expectativa de viver até 76,5 anos, aproximadamente. Além disso, de acordo com estimativas apontadas pelo Banco Mundial, nos próximos 40 anos, o número de pessoas idosas crescerá a uma taxa de 3,2% ao ano (sendo que a população total crescerá a uma taxa de 0,3%) e atingirá 64 milhões de habitantes em 2050, o que representa cerca de 30% da população. Ademais, a previsão é de que, neste mesmo ano, a população de 65 anos ou mais será 13% maior que a população até 19 anos (IBGE, 2019).

Diante desta nova realidade, muitos países, inclusive o Brasil, tem se adaptado para receber e enfrentar as mais variadas demandas que englobam o envelhecimento, de acordo com as suas peculiaridades e o contexto social, cultural e político em que estão inseridos. Nesta seara, principalmente no âmbito das cidades, a perspectiva da inclusão socioespacial do idoso tem sido um desafio para os pesquisadores e a própria coisa pública, em especial, nos lugares de moradia para idosos e seu entorno, sendo necessário considerar os aspectos objetivos e subjetivos que podem propiciar o envelhecimento ativo e saudável preconizado pela Organização Mundial da Saúde (2015).

Para Milton Santos (1993), os desafios urbanísticos decorrentes do acelerado processo de urbanização - que o Brasil vivencia a partir da década de 1950, impulsionado pelo processo de industrialização - estimulou a migração em massa do campo em direção às metrópoles, pois a cidade industrial era vista pelos habitantes do campo como prosperidade econômica e ascensão social. Ocorre que para a população pobre essa ascensão não aconteceu, e ainda impulsionou o aumento da desigualdade social e uma fragmentação do espaço urbano.

Em consonância a isso, a cidade defronta-se também com o aumento do número de idosos morando sozinhos, pois envelheceram nestes espaços. Tal episódio, aumentou no contexto brasileiro desde a década de 1970, ocorrendo devido às mudanças na estrutura tradicional da família, como as diferenças nos papéis sociais, decréscimo do número de filhos, migração urbana, dentre outros fatores que podem alterar as funções tradicionais da família, como a de educadora das crianças e de cuidadora dos mais velhos. Além disso, observa-se sendo mais comum, idosas morando sozinhas e em condições precárias, o que pode ser entendido pelo fato de que uma grande parte delas são viúvas, uma vez que as mulheres vivem mais que os homens e viviam sobre a dependência financeira dos maridos, sendo seu papel social cuidadoras do lar (DEBERT 2011; IBGE, 2016; NEGRINI, 2018).

Diante desse cenário, redes de suporte e apoio aos idosos precisam ser estruturadas, sejam nos âmbitos da saúde, social, econômico, político ou ambiental. Um exemplo disso são os atuais condomínios para idosos de baixa renda, como nova modalidade habitacional. Esses condomínios podem servir como estratégia a fim de suprir as necessidades e garantir direitos, tais como a moradia digna e a manutenção da qualidade de vida (LIMA *et al*, 2014). A moradia, se inadequada, afeta diretamente a qualidade de vida, o sentido de pertencimento e a identidade pessoal com o lugar.

O entorno da moradia integra-se ao conceito de moradia adequada, por isso deve contemplar a acessibilidade e as relações sociais entre a vizinhança como forma de inclusão socioespacial. Atendendo as condições objetivas e subjetivas que permeiam o lugar de moradia, esse espaço cumpre sua função social e também carrega adjetivos que inspiram os sentidos pessoais e estimulam as relações sociais, traduzidos na ambiência do lugar.

21 AMBIÊNCIA E MORADIA ADEQUADA

A moradia da pessoa idosa requer atributos para além da edificação. Necessita compor-se da alvenaria - questão objetiva e palpável, mas também contemplar aspectos subjetivos que despertem o sentido de pertencimento da pessoa ao lugar - que agregue sensações positivas. Nesse sentido, Thibaud (2007) afirma que a ambiência é composta por aspectos objetivos e subjetivos que interferem no bem-estar individual e coletivo, integrando a própria noção de felicidade. O autor alerta para a necessidade de refletir sobre temas de natureza social, estética, urbana, ecológica e política através do refinamento dos sentidos, ou seja, contemplar elementos que estão além dos elementos técnicos das edificações.

Desse modo, a ambiência perpassa a temática espacial e alcança a dimensão da afetividade; multissensorial, resulta de estímulos que acontecem pela interação do indivíduo e do ambiente (MONTEIRO, *et al*, 2017).

É possível afirmar que o significado da palavra ambiência percorre trajetos amplos e abrangentes, como sendo “atmosfera” e “espaço aberto”, que caminha para algo intrínseco ao ser humano, referindo-se a “aura” enquanto essência da individualidade, do “caráter” e da representação de valores morais.

Rheingantz (2001 p.12) ressalta que “o ambiente não se restringe as relações medidas e seus meios materiais”, mas perpassa pelos aspectos físicos, abrange as relações de convívio, de afinidade e situa-se na qualidade dos afetos e das relações sociais desenvolvidas, dando forma à qualidade da ambiência deste lugar. Portanto, a ambiência vai além da questão urbanística, alcançando uma dimensão emocional.

Nesse sentido a habitação, conceito impreciso, mas indiscutivelmente local de moradia, exerce profundo impacto na saúde humana (PASTERNAK, 2016). Requer mais que a parte física, necessita ser adequada atentando-se ao direito social estabelecido no artigo 6º da Constituição Federal de 1988. A Organização das Nações Unidas, ao referir-se a moradia digna no “Comentário Geral 4, do Comitê dos Direitos Econômicos, Sociais e Culturais das Nações Unidas para o Controle dos Tratados em Matéria de Direitos Humanos” também na Comissão sobre Assentamentos Humanos, conceitua a moradia digna e adequada, caracterizando atributos objetivos e subjetivos que contribuem para sua qualificação. Nesta perspectiva, a moradia é vista “como componente do direito a um padrão de vida adequado” (ONU, 2000, *apud* Brasil, 2013 p. 10).

Neste cenário, a localização da moradia digna e adequada torna-se fator determinante de acesso ao trabalho, serviços de saúde, escola, creche e outros benefícios importantes para o desenvolvimento social. Contemplando, também a subjetividade dos seus moradores, deve possibilitar a expressão e preservação da identidade, a diversidade racial e cultural (OHCHR; ONU-HABITAT, 2009 *apud* BRASIL 2013).

As condições do entorno e as relações que se estabelecem na vizinhança integram

a realização efetiva da moradia digna e adequada. No presente estudo as moradias dos idosos localizadas *intra muros* e suas relações com o entorno podem representar preservação da sua autonomia e da independência. A literatura científica apresenta estudos na área da saúde que possibilitam relacionar a influência dos aspectos da vizinhança nos processos de saúde ou doença. São estudos justificados pela necessidade de obter uma visão abrangente sobre os aspectos que influenciam a saúde populacional (SANTOS, et al., 2007).

3 I LOCAL DO ESTUDO: O CONDOMÍNIO EXCLUSIVO PARA IDOSOS DE BAIXA RENDA - RECANTO FELIZ

O Recanto Feliz foi construído em uma área ociosa vinculada à antiga rede da Ferrovia Paulista (FEPASA) e inaugurado em dezembro de 2010. Na figura1 tem-se a vista frontal, o Centro de Convivência em destaque, além de algumas casas ao fundo:

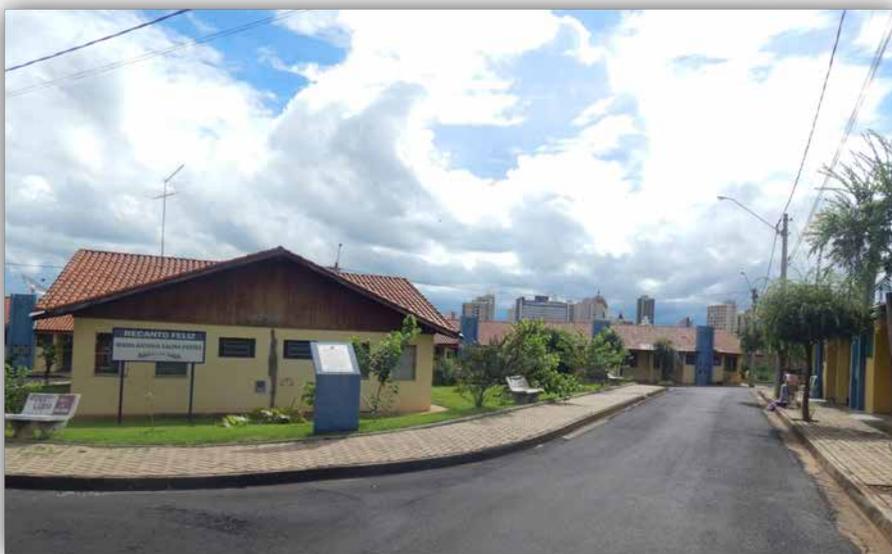


Figura 1 – Condomínio Recanto Feliz: vista frontal, à frente o centro de convivência e ao fundo algumas casas.

Fonte: equipe de pesquisadores/2015.

Constituiu-se por 33 (trinta e três) casas térreas, das quais 2 (duas) estão adaptadas de acordo com os princípios do desenho universal. Trata-se de uma tipologia de moradia exclusiva para idosos de baixa renda, de gestão pública municipal, localizada *intra muros*. Os requisitos necessários para integrar-se à esta modalidade de moradia são: ter 60 anos de idade ou mais, possuir renda de zero a um salário mínimo, residir sozinho ou em

companhia do cônjuge e estar em condições de desenvolver as suas atividades de vida diária.

Na ocasião da implantação desse espaço não houve observância das normas e da legislação vigente sobre acessibilidade, produzindo ao longo dos anos de usabilidade, alguns problemas relacionados à segurança, em sentido amplo. Portanto, na perspectiva de melhorar os aspectos da ambiência e da acessibilidade desse espaço, desenvolve-se no condomínio a pesquisa “Espaço Urbano e Moradia Digna: perspectivas da acessibilidade e funcionalidade na velhice”, aprovada pelo comitê de ética (parecer nº 297.793/13), e que contou com apoio de auxílio regular FAPESP (processo nº 2013/22021-0).

Esse artigo tratou-se de um recorte da referida pesquisa, cuja coleta de dados, realizada no ano de 2015, contou com visitas ao residencial e ao entorno, utilizando-se a observação participante e entrevistas semiestruturadas com a vizinhança da área estabelecida como unidade de vizinhança.

3.1 Definição da área espacial de abrangência do estudo: Unidade de Vizinhança- UV

Para a avaliação do condomínio e seu entorno, delimitou-se a área do entorno, baseando-se no conceito idealizado por Clarence Arthur Perry em 1929, que projetou um plano para Nova Iorque, cuja essência era o aspecto social. Para melhor apreciação do espaço, o mapa (figura 2) mostra a delimitação da unidade de vizinhança:



Figura 2. Condomínio exclusivo para idosos Recanto Feliz e seu Entorno: delimitação da área para estudo - unidade de vizinhança.

O estudo de Perry aproximava as relações entre os habitantes da comunidade e

os equipamentos de serviços existentes. Tal vertente consiste na recuperação de valores de uma vida social a nível local (relações de vizinhança), considerados enfraquecidos ou mesmo perdidos com as transformações por que passou a vida urbana (BARCELLOS, 2001).

A Unidade de Vizinhança foi definida de acordo com as seguintes características: tamanho, dimensionada de acordo com a demanda populacional requerida pela escola elementar; limites, uma UV deve ser limitada por ruas suficientemente largas para facilitar o tráfego de pedestres, evitando ser penetrada pelo tráfego de passagem (veículos); espaços públicos, considerando que a UV deve conter um sistema de pequenos parques e espaços de recreação, planejados para o encontro e para as necessidades particulares dos moradores; áreas institucionais, como escolas e outras instituições, tendo áreas de atuação coincidindo com os limites da UV.

Tais áreas devem ser adequadamente agrupadas em lugar central e comum, devendo ser oferecidas, de preferência, na junção das ruas de tráfego e adjacente a outra; sistema de ruas, provida de um sistema especial de ruas desenhado como um todo para facilitar a circulação interior e desencorajar o tráfego de passagem. Além disto, cada rua deverá ser proporcional à provável carga de tráfego. (PERRY, 1929, *apud* BARCELLOS, 2001).

Entretanto, não se pode deixar de observar que, no desenvolvimento das cidades, existe uma reestruturação contínua, muitas vezes a despeito dos desejos dos planejadores, resultado da interação das diferentes forças atuantes no meio urbano, reduzindo as possibilidades de se determinar, através do desenho da cidade, as práticas sociais (BARCELLOS, 2001). Todavia, são recorrentes na ideia de UV os anseios da recuperação das relações de vizinhança. Mas desde sua formulação inicial essas retenções têm sido muito criticadas. Porém, de modo algum esses anseios foram abandonados pelos urbanistas, apenas ganharam certa autonomia com relação às ideias de UV (BARCELLOS, 2001).

Contudo, independente do modelo adotado, a unidade de vizinhança preconiza a proximidade, no sentido de melhorar a acessibilidade entre uma comunidade e seu entorno. Inseridos neste contexto, uma série de fatores, como a localização espacial e os desenhos arquitetônicos e urbanísticos devem ser (re)pensados nas cidades, pois influenciam nas relações humanas, aproximando ou distanciando as pessoas de uma mesma localidade.

Para melhor compreensão da área do estudo, foram utilizados os parâmetros da UV de Perry (1929), citados acima, observando-se que o entorno do condomínio é composto por 10 ruas em sua área de abrangência, possui 99 residências, 3 espaços públicos, 2 áreas institucionais e 1 comércio local. Tais características evidenciam uma deficiência na oferta de equipamentos, com ausência de espaços públicos e de uso comum, de mercados, farmácias, lojas e unidades de saúde.

A locomoção por meio do transporte público também é dificultada, pois o ponto

de ônibus é inadequado do ponto de vista técnico, além de estar localizado em frente em um terreno baldio, com vegetação e sujeira sobrepostas. Por todo espaço geográfico abrangido na UV, à época da coleta de dados a acessibilidade estava comprometida, com calçadas quebradas, ruas esburacadas e resíduos sólidos expostos nas vias e adjacências.

3.2 Entrevistas semiestruturadas com moradores do entorno

Definida a área limite da UV, iniciou-se a fase das entrevistas com a vizinhança, no qual participaram 16 moradores, maiores de 18 anos de idade. Algumas casas que pertencem ao entorno optaram por não responder a pesquisa, ou não havia moradores no horário da entrevista, considerando que a maioria estava em horário de trabalho, sendo essa uma das dificuldades encontradas para conseguir participantes.

Em relação ao tempo que os moradores estavam naquela localidade, houve variação relevante: existiam pessoas que moravam nesse local há menos de 1 ano e outros que residiam há 57 anos. Mas a maioria (80%) residiam no local há mais de 3 anos. Considera-se ser esse o motivo do qual todos os moradores entrevistados sabiam que o Recanto Feliz é um local de moradia para idosos.

Com algumas questões abertas analisou-se a percepção da vizinhança em relação ao Recanto Feliz e seu entorno. As perguntas referiam-se a aspectos físicos e sociais que poderiam refletir nas relações de vizinhança estabelecidas naquele local. Assim, perguntou-se se conheciam algum morador do núcleo habitacional, 60% responderam afirmativamente, sendo que a maioria destacou: “conheço só de vista” [*sic*]. Em relação aos 40% dos entrevistados que não conheciam algum morador, disseram que gostariam de conhecer, porém alguns deles relataram não ter tempo: “gostaria, mas não dá tempo” [*sic*].

Também 60% dos entrevistados responderam que gostariam de participar de atividades desenvolvidas no Recanto Feliz, e o restante (40%) respondeu “não” a essa questão. Mas observa-se que tanto para “sim” quanto para “não” surgiram justificativas como “não tenho tempo”.

Verificou-se, ainda, nas entrevistas que os vizinhos eram capazes de expressar sua opinião sobre pontos positivos e negativos de se morar no condomínio, e nas respostas à essa pergunta destacaram aspectos da problemática com a acessibilidade, em respostas como: ponto de ônibus inadequado; casa pequena; falta de segurança; falta de supermercados e farmácias na imediações do bairro. Um entrevistado apontou em referência às casas dos idosos: “as casas são muito pequenas, preferia morar num asilo” [*sic*]. Também foi destacado, na grande maioria das entrevistas, como negativo a poluição sonora pelo barulho do trem que trafega nas imediações dessa UV.

3.3 Considerações socioespaciais

As condições da vizinhança, tais como acessibilidade, conforto térmico e relações

sociais, podem interferir nas condições de habitabilidade e nas sensações da ambiência do lugar de moradia, comprometendo ou melhorando a saúde do morador.

Uma cidade acessível e funcional para todas as idades envolve um planejamento urbano integrado em diversas áreas do conhecimento, que se inicia com a inserção de políticas públicas que deem conta dessa nova realidade do envelhecimento populacional (MONTEIRO, *et al.*, 2015).

Em relação à moradia para a pessoa idosa, existe legislação vigente que fundamenta a construção de um espaço urbano e de edificações acessíveis, tais como a Política Nacional do Idoso (lei nº 8.842/94), o Estatuto do Idoso (lei nº 10.741/03), e a mais recente, o Estatuto da Inclusão (lei nº 13.146/15). Porém, com o envelhecimento populacional ocorrendo de forma acelerada nas últimas décadas, a efetividade desse arcabouço legal nos municípios ainda se faz ineficiente e insatisfatório no que diz respeito a “ser acessível a todos”. A realidade das cidades, ainda, depara-se com calçadas estreitas, presença de ladeiras, construção de imóveis rentes ao passeio público e outros fatores que dificultam a consolidação de espaços democráticos, que firmem o direito de ir e vir como incentivo às relações socioespaciais.

A situação verificada no local de estudo compromete o ambiente facilitador das relações socioespaciais, a integração e a qualidade de vida dos moradores daquela UV. No entorno do condomínio, as barreiras físicas identificadas, como calçadas irregulares, terrenos baldios e equipamento urbano ineficaz, podem dificultar ou impedir a realização das atividades do cotidiano de forma independente e com autonomia (DISCHINGER, *et al.*, 2012).

Outro fator que pode influenciar na mobilidade dos idosos é o transporte público. O ponto de ônibus mais próximo do condomínio, à época das visitas de campo, estava apenas há 100 metros, porém o trajeto exigia cuidado e atenção devido à precária manutenção da área. O ponto de embarque e desembarque, embora apresentasse um pequeno abrigo, não atendia às necessidades de pessoas com deficiências, como usuárias de cadeiras de rodas. Também se notou a ausência de informação sobre itinerários e horários.

O excesso de terrenos baldios no entorno do condomínio pode desencadear situações negativas que influenciam diretamente na qualidade de vida e na segurança dos moradores. Nesses espaços, há disposição final inadequada de resíduos sólidos que propiciam o aparecimento de mosquitos e vetores transmissores de doenças que afetam a saúde dos moradores daquela vizinhança. Nesse sentido, Roux & Mair (2010, p. 139) afirmam que:

(...) a complexidade do tema é tal que uma combinação de estratégias é necessária para compreender a miríade de formas em que ambientes como os de vizinhança, pode afetar na saúde, para que assim possam se determinar as intervenções mais promissoras e de políticas públicas.

Neste contexto, ao identificar fatores ambientais, como aparência, poluição sonora,

infraestrutura de serviços, sinais de desordem física (pichações, objetos abandonados e acúmulo de lixo nas ruas) que interferem negativamente na saúde, sugeriram indicativos de que aquele espaço merecia atenção pela gestão pública. Em contraponto, boas condições ambientais facilitam o deslocamento de pessoas com necessidades especiais, aumentam o nível de atividade física e saúde, refletindo positivamente sobre a saúde individual e dos grupos, fortalecendo as práticas de participação e de cidadania (SANTOS, et al., 2007).

Do ponto de vista arquitetônico, os resultados revelaram um espaço ainda pouco adequado. As barreiras físicas encontradas favorecem o surgimento das barreiras atitudinais, pois dificultam o deslocamento das pessoas desestimulando as relações de vizinhança que poderiam se desenvolver no local. Assim, as barreiras físicas impelem barreiras sociais, pois comprometem a ambiência, fragilizando as relações.

Considerando aspectos sociais, as entrevistas apontaram ausência de convivência entre os moradores do Recanto Feliz e seus vizinhos. Embora a maioria dos entrevistados afirmassem conhecer algum morador, ainda que só de vista, parte significativa respondeu que não se interessava em conhecê-los, no sentido de aproximar-se efetivamente estabelecendo relações de vizinhança. As questões abertas revelaram ainda, que os entrevistados apresentaram disposição em conhecer o espaço físico do Recanto, mas não demonstraram interesse em estreitar a convivência social. Essa situação reflete a própria dinâmica das cidades brasileiras na contemporaneidade, onde as interações socioespaciais cedem lugar à individualidade e a ambiência é abdicada em prol da concretude do dia a dia.

4 | CONCLUSÃO

A moradia adequada e digna integra o que a Organização Mundial da Saúde conceitua como saúde subjetiva “um completo estado de bem-estar” compreendendo equilíbrio entre o aspecto físico, espiritual e o psicossocial. Assim, é necessário considerar todas as dimensões que compõem a vida humana, a subjetividade individual e as características que abarcam o *habitat*.

Tendo em vista o aumento da população idosa no Brasil, é necessário pensar lugares de moradia que contemplem um entorno acessível e funcional, despertando experiências físicas e sensoriais, considerada ambiência. No caso do Recanto Feliz problemas como, calçadas irregulares, terrenos baldios, barulhos do trem, falta de iluminação, espaços públicos reduzidos, equipamentos de saúde, lazer, educação e trabalho praticamente inexistentes, dentre outros fatores integrantes do meio, comprometem a ambiência e conseqüentemente fragilizam as relações socioespaciais entre os moradores do condomínio e os da vizinhança.

O poder público ao implementar políticas habitacionais, tal qual o Recanto Feliz, necessita considerar condições objetivas e subjetivas que permeiem o lugar de moradia e seu entorno, com o intuito de oferecer um ambiente equilibrado, melhorando a qualidade

das interações cotidianas entre as pessoas e o seu meio, valorizando a ambiência.

O estudo da ambiência revela a importância de ações e avaliações interdisciplinares que favoreçam experiências de um grupo sobre a compreensão do meio e a atuação das pessoas sobre o espaço, de forma a aproximar a vizinhança e o sentido de pertencimento ao lugar. Nesse sentido, o entorno merece ser arquitetonicamente organizado, constituindo um meio físico, estético e psicológico, especialmente preparado para o exercício das atividades humanas, que valorizem as percepções pessoais e sociais, estratégias para a garantia do direito à cidade e a cidadania para todas as idades.

REFERÊNCIAS

BANCO MUNDIAL. Envelhecendo em um Brasil mais velho. **Washington DC: Banco Mundial**, 2011.

BARCELLOS, V. Q..Unidades de Vizinhança: notas sobre a sua origem, desenvolvimento e introdução no Brasil. 2001. **Cadernos eletrônicos da Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da UNB** (atual Paranoá). Disponível:http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/cadernos_eletronicos/unidade/unidade.html>. Acesso em abril, 2015.

BRASIL. Lei n. 10.741, de 1º de outubro de 2003. Dispõe sobre o Estatuto do Idoso e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 3 out. 2003. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei 13146/2015. Institui o Estatuto da Pessoa com Deficiência. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/13146.htm. Acesso em junho de 2021.

CAMARANO, A. A.. Envelhecimento da População Brasileira: Uma contribuição Demográfica. In: FREITAS, E.V. et al. **Tratado de Geriatria e Gerontologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

DEBERT, G. G; SIMÕES, J. A.. Envelhecimento e Velhice na Família Contemporânea. In: FREITAS, E.V. et al. **Tratado de Geriatria e Gerontologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

DISCHINGER, M.; BINS ELY, V. H. M.. **Promovendo acessibilidade espacial nos edifícios públicos: guia de avaliação e implementação de normas técnicas**. Santa Catarina: Ministério Público do Estado, 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Coordenação de População e Indicadores Sociais. **Síntese de indicadores sociais: uma análise das condições de vida da população brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE; 2016.

Instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE). **Tábua completa de mortalidade para o Brasil** (IBGE/2019). Disponível em:< https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3097/tcmb_2019.pdf>. Acesso em junho de 2021.

KALACHE, A. et al. O envelhecimento da população mundial. Um desafio novo. **Rev. Saúde pública**, S. Paulo, 1987.

LEESON, G.W.. Tendências globais da população no século XXI. In Ferreira, J.P e Melhado, V.R.. **Gerontologia: perspectivas teórico-analíticas**. Campinas: Alínea. p. 17- 41, 2021.

LIMA, J; TESTON,E,F;MARCON,S. S.. Qualidade de vida de residentes em condomínio exclusivo para idosos. **Saúde Santa Maria**, Vol. 40, n. 2, Jul./Dez, p.73-80, 2014.

LOFQVIST, C. *et al.* Voices on relocation and aging in place in very old age – a complex and ambivalent matter. **The Gerontologist**. V. 53, no.6, p. 919-927, 2013.

MALARD, M. L.. Forma, Arquitetura. **Interpretar Arquitetura**, Belo Horizonte, v. 5, n. 6, p. 1-15, 2004.

OHCHR; UN-Habitat. **The rightt adequate housing**. Geneva: Office ofthe United Nations High Commissioner for HumanRights; New York: UN-Habitat, 2009.

MONTEIRO, L. C. A.; ZAZZETTA, M. S.; ARAÚJO JÚNIOR, M. E. Sustentabilidade: Relações entre espaço urbano e envelhecimento ativo. **Revista Novos Estudos Jurídicos**, Itajaí, v. 20, n. 1, p. 116-145, 2015.

MONTEIRO, L. C.; VAROTO, V. A. G.; FREIRE, A. E; MENDES, N.M. A ambiência compoendo a moradia adequada para idosos de baixa renda. **Serviço Social em Revista**. Londrina, v. 20, n. 1 p. 175 – 196, 2017. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/ssrevista/article/view/31790/23373>. Acesso em junho de 2021.

NEGRINI, E. L..D et al. Quem são e como vivem os idosos que moram sozinhos no Brasil. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v. 21, p. 523-531, 2018.

PASTERNAK S.. Habitação e Saúde. ESTUDOS AVANÇADOS 30 (86), 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/fj/ea/a/CHFxfxZBNt7kyDWRtSfXQFF/?lang=pt>. Acesso em maio, 2020.

ROUX, D.V.A. MAIR, C.. Neighborhoods a health. New York **Academy of Sciences. Ann. N.Y. Acad. Sci.** 1186. New York, p. 125–145, 2005.

RHEINGANTZ, P. A.. Uma Pequena Digressão Sobre Conforto Ambiental e Qualidade de vida nos Centros Urbanos. **Cidade & Ambiente**. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Vol.1 n.22 , p. 35-58, 2001.

SANTOS, S. M. *et al.* .Associação entre fatores contextuais e auto-avaliação de saúde: uma revisão sistemática de estudos multinível. **Cadernos Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 11, p. 2533-2554, 2007.

SANTOS, S. M.. **A urbanização Brasileira**. Editora da Universidade de São Paulo - Edusp. 5º edição - 1º reimpressão. São Paulo, p. 129 -140, 2008.

THIBAUD, J.P. (resp. scientifique) et al. **Variations d’ambiances. Processus et modalités d’urgence des ambiances urbaines**. Cresson, Grenoble, 2007, 310 p. http://doc.cresson.grenoble.archi.fr/opac/doc_num.php?explnum_id=341

WHORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). (2012) **Dementia: a public health priority**. Suíça. Disponível em :http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789241564458_eng.pdf.

WHORLD HEALTH ORGANIZATION OMS. **World Health Report**. Suíça: WHO, 2015.

METODOLOGIA DE COMPOSIÇÃO DE CUSTO PARA ENCARGOS COMPLEMENTARES: EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Data de aceite: 02/08/2021

Guilherme Martins Pereira

Graduado em Engenharia da Produção pelo Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix (CEUNIH)
<http://lattes.cnpq.br/6780533486689618>
Belo Horizonte. MG

Regina Maria Germânio

Graduada em Engenharia da Produção pelo Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix (CEUNIH)
<http://lattes.cnpq.br/8999825158286660>
Belo Horizonte. MG

Tiago Silveira Gontijo

Mestre em Engenharia de Produção (UFMG), docente do Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix (CEUNIH)
Belo Horizonte. MG
<http://lattes.cnpq.br/2865658247618316>

RESUMO: O presente artigo teve como intuito propor uma metodologia de composição de custo, voltada aos encargos complementares de forma a contribuir para o aumento de competitividade de uma empresa construção pesada. Para tal utilizou-se princípios da engenharia de custo aliado a preceitos estatísticos e visão crítica de segurança do trabalho. A partir do estudo de caso, foi possível demonstrar como uma divergência na estimativa de consumação do insumo EPI pode influenciar no resultado econômico da obra. Neste caso em questão a divergência do custo mensal com EPI chegou a uma defasagem de

55% no estrato amostrado, o que resultou em uma defasagem acumulada de 87% projetada até o final da obra. Entretanto com adoção da solução proposta pode-se obter uma redução nesta defasagem de 66% se aplicada as futuras aquisições do insumo.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia de Custo. Orçamento de obra. Encargos Complementares. Equipamentos de Proteção Individual-(EPI).

COST COMPOSITION METHODOLOGY FOR ADDITIONAL CHARGES: PERSONAL PROTECTION EQUIPMENT

ABSTRACT: The purpose of this article was to propose a methodology of cost composition, focused on the additional costs in order to contribute to the increase of competitiveness of a heavy construction company. For this purpose we used the principles of cost engineering allied to statistical precepts and critical vision of work safety. From the case study, it was possible to demonstrate how a divergence in the consumption estimate of the PPE input can influence the economic result of the work. In this case the divergence of the monthly cost with PPE reached a 55% lag in the sampled stratum, which resulted in a cumulative lag of 87% projected until the final work. However, with the adoption of the proposed solution, a reduction in this gap of 66% can be obtained if future acquisitions of the input are applied.

KEYWORDS: Cost Engineering. Construction work. Complementary Charges. Personal Protection Equipment (PPE).

1 | INTRODUÇÃO

A crise econômica no Brasil atingiu a indústria da construção pesada de forma significativa, as margens de lucro ficaram cada vez menores colocando a sobrevivência das empresas desse segmento em risco de acordo com SICEPOT (2016). No início do ano de 2014 o setor acreditava que poderia crescer 1,6 % a mais do que o registrado em março de 2013, ano em que o PIB do setor mal ultrapassou os R\$ 221 bilhões de reais, entretanto, o primeiro semestre 2014 foi desanimador e o setor da construção pesada apresentou queda de 0,9% já no primeiro trimestre, aprofundando-se para 8,7% no trimestre seguinte, (MARCONDES, 2014).

Diante deste cenário adverso da economia brasileira, as empresas do setor de construção pesada se encontraram ainda mais pressionadas em serem competitivas, já que o número de licitações reduziram significativamente conforme SICEPOT (2016). E para obtenção de tal competitividade, as empresas desses seguimento recorrem as técnicas de engenharia de custos, que avaliam os dados físicos quantitativos, bem como os encargos incidentes, (TISAKA,2010); (DIAS,2011).

No que refere-se a encargos, fontes literárias como: Tisaka (2010), Dias (2011), CEF (2014) e o TCU (2014), afirmam existir na atual legislação trabalhista e contábil, uma diretriz orçamentária denominada “Encargos Complementares de Mão de Obra”, diretriz esta, onde são previstos custos com refeição, transporte, Equipamento de Proteção Individual - EPI, uniformes, ferramentas manuais, exames médicos, seguro de vida em grupo, entre outros, que compõe o preço de venda dos serviços.

Destaca-se que tais insumos existem por força de lei vinculadas a convenções coletivas e normas regulamentadoras, (BRASIL,1978b). Frisa-se ainda, que tais insumos não possuem caráter opcional de fornecimento ou de quantidade, em especial os EPIs, pois sua vida útil depende de inúmeros fatores ligados a questões de segurança do trabalho. Quando tais fatores são negligenciados, expõe o empreendimento ao risco de multa, embargo ou interdição por parte do Ministério do Trabalho e Emprego – MTE, gerando assim custos adicionais impossíveis de se prever. Em casos mais graves como ocorrência de acidentes pela ausência deste insumo, corre-se o risco de indiciamento civil criminal, (SESI, 2008).

Diante dessa realidade, estimar a consumação de EPIs não é uma tarefa fácil, segundo Gonzalez (2008), o engenheiro orçamentista recorre a entidades de mercado que disponibilizam índices e referenciais para serem utilizados nas composições de custo. Os mais conhecidos são:

- O SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e índices da Construção Civil;
- A Fundação Getúlio Vargas - FGV;
- E a editora PINI.

Entretanto é importante que as empresas tenham sua própria base de dados e índices, já que entre as principais causas de orçamentos deficientes está o uso inadequado dos referenciais, sistema de banco de dados defasados e profissionais mal preparados em termos de engenharia de custos, (DIAS, 2011).

Diante da atual conjuntura, chega-se ao objetivo geral desse artigo, que é propor uma metodologia de composição de custo baseada em preceitos estatísticos utilizando uma obra de construção pesada como objeto de estudo. Desdobrando assim as seguintes ações:

- A. Diagnostico estatístico do volume de consumação dos principais EPIs, considerando grupos estratégicos da obra;
- B. Análise do impacto da metodologia sobre o processo de orçamentação utilizado pela empresa na fase licitatória;
- C. Análise de modalidade alternativa de aquisição do insumo EPI.

O presente artigo é composto desta introdução e outras quatro seções que se dividem em: contextualização, referenciais teóricos, resultados e conclusão.

1.1 Contextualização

Para o estudo de caso, analisou-se uma empresa prestadora de serviço que se encontra executando uma obra de duplicação de ferrovia iniciada em 2015 com término previsto para 2017. Essa duplicação de 559 km consiste dos serviços de terraplenagem, lançamento de lastro (Brita), instalação de dormente e trilhos, além da construção de pontes e viadutos de acesso.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Engenharia de Custos e Licitação

Segundo Dias (2011), a engenharia de custos é um conjunto de normas, critérios e experiências, utilizados para estimar custos de forma prévia, monitorando os mesmos na fase de construção. Já a CEF (2014), conceitua engenharia de custos como ramo da engenharia que se utiliza de técnicas de apropriação de custos para se estimar um empreendimento sob supervisão de um profissional habilitado.

Quanto a licitação, segundo Spinelli e Luciano (2012), trata-se de um processo administrativo para contratação de uma obra, visando escolher a proposta mais vantajosa a partir dos parâmetros previamente definidos, conforme a Lei n.º 8.666, Brasil (1993). Um desses parâmetros é a formação do preço de venda, o que segundo Dias (2011) é a soma do custo direto e indireto acrescido do lucro previsto, sendo este último computado no Benefício de Despesas Indiretas BDI (*Budget Difference Income*), conforme demonstrado na Equação 1.

$$\text{Preço de Venda (PV)} = \text{Custo Direto (CD)} + \text{BDI} \quad (1)$$

Este mesmo entendimento pode ser observado na equação 2 apresentada por Tisaka (2010):

$$\text{PV} = \text{CD} * \left[1 + \frac{\text{BDI}\%}{100} \right] \text{ ou } \text{PV} = \text{CD}(1+b) \quad (2)$$

Sendo:

PV = Preço de Venda ou Orçamento

CD = Custo Direto ou Despesa Direta

BDI = Benefício e Despesa Indireta expresso em percentual

2.2 Custos de obra: Custo Direto versus Custo Indireto

Para Dias (2011), o custo direto pode ser obtido pela soma dos insumos incorporados ao produto que dispõem de unidades de medidas facilmente mensuráveis, como: escavação, concretagem, formas, entre outros. O mesmo se atesta em Tisaka (2010) e no TCU (2014) ao definirem como a somatória de todos os custos de materiais, equipamentos e mão de obra que podem ser devidamente identificados e mensurados.

Quanto ao custo indireto, tanto Dias (2011) quanto o TCU (2014) definem como sendo um custo de difícil mensuração, como: mão de obra administrativa, contas das concessionárias (energia, água, correio, telefone e etc.), fazendo com que as empresas criem critérios apropriando-se da taxa de Benefícios e Despesas Indiretas - BDI, (TISAKA, 2010).

Na concepção Dias (2011), o Benefício de Despesas Indiretas - BDI, pode ser obtido através da Equação 3:

$$\% \text{BDI} = \frac{\text{Custo Indireto Total} + \text{Resultado Estimado}}{\text{Custo Direto}} \quad (3)$$

Quanto aos encargos que compõem o preço de venda abordou-se neste artigo o encargo social ou encargo complementar, o que segundo Dias (2011) e o TCU (2014) são aqueles estabelecidos por lei, geralmente expressos como um percentual incidente sobre os salários. Entretanto a CEF (2014), estabelece subdivisões para tais encargos, sendo eles:

I. Grupo A – Encargos Sociais Básicos, proveniente de legislação ou convenção coletiva de trabalho como: Previdência Social, Seguro Contra Acidente de Trabalho, entre outros.

II. Grupo B – Encargos Sociais que recebem incidência do Grupo A como: repouso semanal remunerado, férias gozadas, feriados e 13º salário.

III. Grupo C – Encargos Sociais sem a incidência do Grupo A, exemplo: Aviso prévio, férias vencidas (indenizadas), entre outras.

IV. Grupo D – Reincidências de um grupo sobre outro.

Encontra-se ainda na literatura um quinto grupo, ou seja, **Grupo E**, porém os encargos deste grupo, devem incidir sobre o custo direto do serviço, pois estes, não são pagos em função do salário, (TCU, 2014).

Na abordagem de Tisaka (2010) o **Grupo E**, pode ser obtido através da Equação 4:

$$EPI = \left[\sum_{i=1}^n \frac{P1F1 + P2F2 + P3F3 + \dots PnFn}{N} \right] \frac{S}{S} \times 100 \quad (4)$$

Sendo:

N = número de empregados na obra;

S = salário médio mensal;

P1, P2, P3,.....Pn = Custo de cada um dos Equipamentos de Proteção Individuais (EPis) ou de ferramentas manuais;

F1, F2, F3,.....Fn = Fator de utilização dos EPis ou de ferramentas manuais, dado pela seguinte Equação 5:

$$F = \frac{t}{12 \times VU} \quad (5)$$

Sendo:

t = tempo de permanência do EPI ou da Ferramenta à disposição da obra;

VU = Vida útil do EPI ou Ferramenta manual em meses.

Considerando que o presente artigo não tem intuito de esgotar o entendimento sobre a engenharia de custo e suas metodologias, buscou-se identificar na literatura, trabalhos que abordem vertentes similares a este artigo, conforme demonstra-se no Quadro 1 abaixo:

Variáveis	Síntese	Autores
Composição de custo de obra	Divergências relevantes tanto no que se refere aos itens que devem compor a planilha de serviços de uma obra como custos diretos, inclusive os encargos sociais, e os que devem fazer parte do Bônus e Despesas Indiretas – BDI	Carbonero, (2010)
Gestão de Estoque	Refere-se a verificação através da curva ABC para analisar as condições e necessidades dos estoques em relação aos itens que demandam maior consumo e valor financeiro.	Oliveira, (2011)
Impactos	Baseia-se no estudo dos impactos positivos e negativos que a aplicação da engenharia de custos tem na orçamentação das obras de construção civil.	Taves, (2014)
Precisão orçamentária	Refere-se ao orçamento planejado de um empreendimento com o real praticado, sinalizando ferramentas de coleta confiáveis como notas fiscais do exercício anterior praticado no empreendimento.	Duarte, (2012)

Variáveis	Síntese	Autores
Viabilidade	Implica no acompanhamento de gestão das relações que as pessoas envolvidas no projeto estabelecem entre si, bem como suas tarefas, prazos e custos. Avaliando a partir desses parâmetros a gestão do projeto.	Rocha, (2009)

Quadro 1– Artigos com foco na Engenharia de Custos.

Fonte: Coletado pelos autores, (2016).

Indo além das vertentes, vislumbrou-se potenciais áreas de pesquisa que poderiam derivar do contexto deste artigo, como:

- Análise de eficiência dos EPIs, utilizando a técnica de análise envoltória de dados (durabilidade x marca x custo x modelo);
- Análise das modalidades de aquisição para o insumo EPIs;
- Desenvolvimento de *software* para gestão de EPI com foco na aplicação de ferramentas estatística para estimativas de custo.

3 | METODOLOGIA

O presente estudo de caso fundamentou-se em dados quantitativos, cujo foco foi a durabilidade dos equipamentos de proteção individual utilizados pela construtora objeto do estudo, obtendo-se assim um histórico referencial para empresa consolidado em formato de banco de dados, o qual poderá ser utilizado em processos licitatórios futuros, (BARROS E LEHFELD, 2000).

Quanto a pesquisa descritiva, apurou-se e identificou-se aspectos comportamentais nas frequências de substituição dos EPIs variando entre estratos, (GIL, 2002).

Quanto a pesquisa documental foi alicerçada nas “Fichas de Controle de Equipamento de Proteção Individual”, documento este, emitido individualmente para cada empregado, onde se registra os empréstimos individuais do EPIs com anuência assinada do colaborador que o recebe. E por se tratar de um documento cuja existência é assegurada por força de lei, entendeu-se ser uma ferramenta de grande credibilidade para o artigo, (SILVA, 2004).

A pesquisa aplicada, contribuiu para uma aplicação imediata dos resultados na construtora possibilitando ao empreendimento replanejar seus custos com o insumo EPI, (BARROS E LEHFELD, 2000).

A Figura 1 apresenta um resumo das pesquisas supracitadas, aplicadas neste estudo de caso.

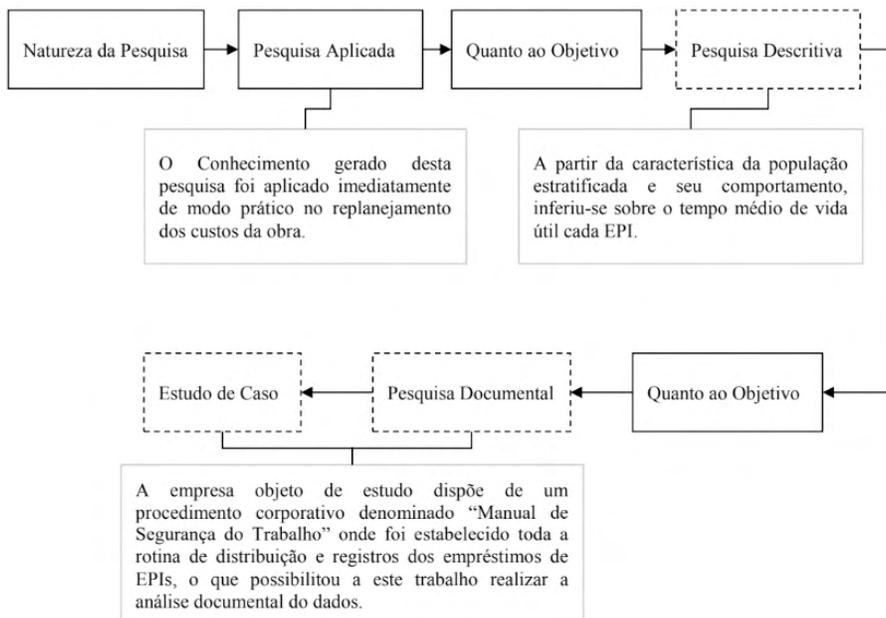


Figura 1 - Resumo da Caracterização da Pesquisa.

Fonte: Adaptado de Silva (2004).

3.1 Universo da pesquisa

Empregando a “Teoria da Curva de Agregação de Recursos”, conhecido na empresa como “Histograma de Mão de Obra”, concebido no ato do planejando da obra, foi possível identificar o comportamento sazonal da mão de obra no empreendimento, permitindo assim escolher o melhor período amostral significativo determinando assim o universo da pesquisa, observado no gráfico 1 abaixo, Kim e Ballard (2001)¹ citados por Kern (2005).

A leitura é feita da seguinte forma:

- O eixo X os meses de duração do empreendimento,
- O eixo Y o número de empregados.

¹ KIM, Y; BALLARD, G. **Earned value method and customer earned value**. 2001. Tradução

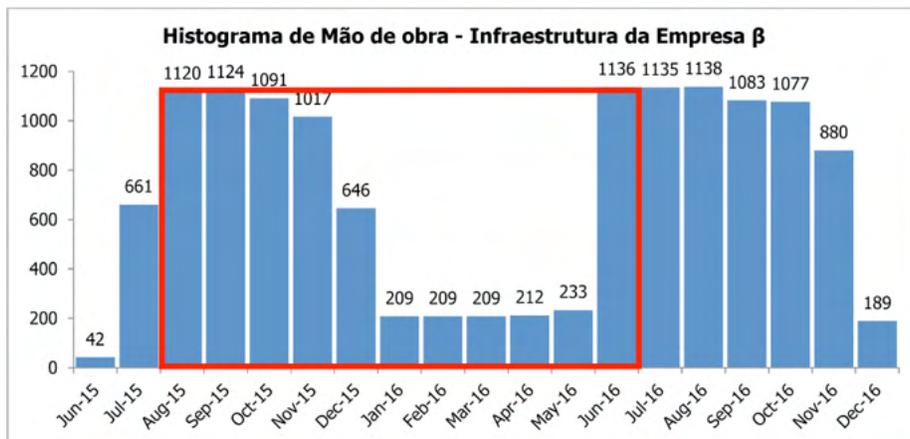


Gráfico 1 - Histograma de Mão de obra da etapa de Infraestrutura da duplicação da ferrovia da empresa β.

No período de junho de 2015 até novembro de 2016 já passaram por esta obra 2240 empregados. Com uma população finita é possível determinar o tamanho da amostra utilizando a Tabela 1 de Arkin e Colton (1995), a margem de erro adotada para este artigo foi de 10%, conforme demonstrado abaixo:

Amplitude da população (universo)	Amplitude da amostra com as margens de erro indicadas					
	1%	2%	3%	4%	5%	10%
-1.000	222	83
1.000	385	286	91
1.500	638	441	316	94
2.000	714	476	333	95
2.500	...	1.250	769	500	345	96

Tabela 1 - Relação para determinar a amplitude de uma amostra tirada de uma população finita com margens de erro de 1%, 2%, 3%, 4%, 5% e 10% com intervalo de confiança de 95%.

Fonte: Arkin e Colton, (1995).

3.2 Amostra

Definido o tamanho da amostra, inicia-se o processo de caracterização do tipo de amostra. Neste estudo optou-se pela amostragem proporcional estratificada, o que segundo Crespo (2002), é de grande interesse quando a população amostral se divide em subgrupos (estratos). Essa é uma subdivisão que ocorre em grupos de indivíduos que apresentam características semelhantes, compondo assim um estrato. Entretanto, os estratos apresentam comportamento diferentes uns dos outros, apesar de coexistirem no

mesmo ambiente.

Balizando no setor de segurança do trabalho da obra, tem-se informação de que apesar de haver as funções iguais lotadas em diferentes estratos, elas não apresentam o mesmo comportamento de consumação de EPI. Esta discrepância se justifica pelo tipo e intensidade diferente de risco que se encontram expostos os indivíduos dos estratos, confirmando assim, ser essa uma das variáveis determinantes do comportamento.

Partindo da premissa acima, realizou-se a distribuição populacional dos estratos existentes na obra, relacionando os mais significativos na Tabela 2. É importante destacar que os estratos são mutuamente exclusivos, ou seja, cada indivíduo da população esteve incluído em apenas um estrato, garantindo-se também que nenhum indivíduo da população ficasse de fora de um estrato.

Garantida as premissas supracitadas, determinou-se a participação de percentual dos indivíduos de cada estrato em relação a distribuição populacional amostral (N), também demonstrada na Tabela 2 abaixo, (ANTUNES, 2011).

Estrato Ajudante		Funções								Total	
		Armador	Aux. de Topografia	Carpinteiro	Greidista	Montador	Motorista de Caminhão	Pedreiro	Topógrafo		
01 Montagem	Nº Absol.	-	-	-	-	-	10	-	-	-	10
	% Total	0	0	0	0	0	9,26	0	0	0	9,26
02 Transporte	Nº Absol.	-	-	-	-	-	-	6	-	-	6
	% Total	0	0	0	0	0	0	5,55	0	0	5,55
03 Topografia	Nº Absol.	-	-	9	-	2	-	-	-	3	14
	% Total	0	0	8,33	0	1,85	0	0	0	2,78	12,96
04 Manut. do Canteiro	Nº Absol.	-	1	-	2	-	-	-	1	-	4
	% Total	0	0,93	0	1,85	0	0	0	0,93	0	3,70
05 OAE – Obra de Arte Especial	Nº Absol.	17	14	-	20	-	-	-	20	-	74
	% Total	15,74	12,96	0	18,52	0	0	0	18,52	0	68,52
Total		17	15	9	22	2	10	6	21	3	108

Tabela 2 - Distribuição Populacional.

Fonte: Elaborado pelos autores (2016), Adaptado de Antunes (2011).

Para fins de demonstração acadêmica, optou-se por utilizar o estrato 05, sendo este o mais significativo em questões de frequência de substituição dos EPIs. Uma parte importante desta metodologia, está em manter o estrato e a amostra com tamanho proporcional a população, conforme demonstrado na Tabela 3, obtendo-se assim uma estratificação ótima, (FONSECA E MARTINS, 2008).

Estrato	Função	Setor	População		Amostra	
			N	%	n	%
1	Montador	Montagem	10	9,26	8	9,26
2	Motorista de Caminhão	Transporte	6	5,55	5	5,55
3	Auxiliar de Topografia	Topografia	9	8,33	8	8,33
3	Greidista	Topografia	2	1,85	2	1,85
3	Topografo	Topografia	3	2,78	3	2,78
4	Armador	Manutenção do canteiro	1	0,93	1	0,93
4	Carpinteiro	Manutenção do canteiro	2	1,85	2	1,85
4	Pedreiro	Manutenção do canteiro	1	0,93	1	0,93
5	Ajudante	OAE – Obra de Arte Especial	17	15,74	15	15,74
5	Armador	OAE – Obra de Arte Especial	14	12,96	12	12,96
5	Carpinteiro	OAE – Obra de Arte Especial	20	18,52	18	18,52
5	Pedreiro	OAE – Obra de Arte Especial	20	18,52	18	18,52
5	Soldador	OAE – Obra de Arte Especial	3	2,78	3	2,78
Total			108	100	96	100

Tabela 3 - População Amostral.

Fonte: Elaborado pelos autores (2016), Adaptado de Antunes (2011).

Caso o orçamentista não disponha do apoio de um setor de segurança do trabalho para lhe auxiliar na formação dos estratos, pode utilizar como recurso agrupar por funções da obra. Esta sugestão pode até mesmo ser uma opção de artigo, comparando o impacto financeiro entre ambas as metodologias.

3.3 Técnica de Coleta de dados

Definido o tamanho das amostras, criou-se uma relação no excel com o nome de todos os indivíduos pertencentes ao estrato. Posteriormente, com o uso da função aleatório realizou-se o sorteio dos registros a serem adotados na tabulação. Esse método é o mais simples meio de coleta de dados, onde são realizados sorteios sucessivos dentro de cada estrato até que se complete o tamanho da amostra n. Essa técnica permite que todas as fichas de equipamento de proteção individual tenham a mesma probabilidade de serem sorteadas. Caso o sorteio não ocorra via *excel*, deve-se ter o cuidado de não retornar com a ficha sorteada para dentro do estrato. (FONSECA E MARTINS, 2008).

4 | RESULTADOS

Após realizado os sorteios das fichas de EPIs, foi possível obter a relação dos

equipamentos de proteção individual utilizados na obra, descritos no Quadro 2 que se segue. Embora apurado a existência de 34 tipos diferentes de EPIs, adotou-se como ilustração para este trabalho apenas 06, os quais se encontram negritados no Quadro 2. A escolha se baseou no equipamentos que apresentaram maior volume de substituição dentro das amostras.

1.	Avental de Raspa com Manga	2.	Luva Nitrílica
3.	Bota de Borracha	4.	Luva Pigmentada
5.	Botina de Segurança	6.	Luva Vaqueta
7.	Calça Arco Elet. Classe I	8.	Máscara de Solda
9.	Calça de Seg. Motoserrista	10.	Óculos de Segurança
11.	Camisa Arco Elet. Classe I	12.	Óculos Maçariqueiro
13.	Camisa de Prot. Motoserrista	14.	Perneira de Raspa C/ Velcro
15.	Capa de Chuva	16.	Perneira Rígida
17.	Capacete de Segurança	18.	Protetor Auricular Tipo Concha
19.	Capuz de Soldador	20.	Protetor Auricular Tipo Plug
21.	Cinto Segurança Tipo Paraquedista	22.	Protetor Facial
23.	Colete Refletor com Velcro	24.	Protetor Solar FPS 30
25.	Conjunto Trevira	26.	Respirador Descartável PFF1 / PFF2
27.	Creme de Proteção (Luva Química)	28.	Sapato de Segurança
29.	Creme desengraxante	30.	Suspensão para Capacete
31.	Luva de Raspa	32.	Talabarte C/Absorvedor
33.	Luva de Seg. Baixa Tensão	34.	Talabarte S/ Absorvedor

Quadro 2 - Equipamentos de Proteção Individual utilizados na obra.

Fonte: Elaborado pelos autores (2016)

A técnica estatística que se segue consiste basicamente em construir uma tabela de frequências para todos os EPIs utilizados na obra, conforme os seguintes conceitos:

- Frequência absoluta, que refere-se ao número de vezes que o tempo de substituição aparece na amostra ou na classe.
- Frequência relativa, que representa o percentual das ocorrências de substituição dentro da classe em relação do total da amostra.
- Tendência Central: Tempo médio aritmético da classe, com maior representatividade percentual das ocorrências.

A partir dos conceitos acima, elaborou-se a Tabela 5, onde destaca-se apenas os intervalos de frequência mais e menos significantes, o intervalo mais significativo serviu de parâmetro de orçamentação.

Luva Vaqueta		Luva de Raspa		Luva Pigmentada	
IC	FR%	IC	FR%	IC	FR%
01 - 15	58,03%	01 - 15	68,57%	01 - 15	52,80%
64 - 306	< 2,00%	32 - 144	< 3,00%	64 - 264	< 3,00%

Luva Nitrílica		Botina Segurança		Óculos Segurança	
IC	FR%	IC	FR%	IC	FR%
01 - 15	34,62	16 - 47	< 5,00	1-15	19,67
48 - 79	< 4,00	64-191	< 10%	112-191	< 3,00
		192-306	23,81		

Legenda: - Intervalo Significante, adotado como premissa de orçamentação.
IC – Intervalo da Classe. - Intervalos Insignificantes.
FR - Frequência Relativa.

Tabela 4 - Tabulações Estatísticas dos EPIs.

Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

A partir dos intervalos de classe significativos determinou-se a sua tendência central, adotando o resultado como parâmetro de temporalidade a ser aplicado no orçamento. Esta prática aumenta a confiabilidade da estimativa, devido ao fato de ser mais restritivo. Um comparativo deste parâmetros pode ser conferidos na Tabela 6, a seguir:

EPIs	Período de Substituição estimado em dias.	Período de Substituição adotado na licitação.	Período de Substituição das Amostras (Tendência Central)	Período de Substituição adotado para reorçamento.
Luva Vaqueta	15 dias	02 Semanas	08 dias	01 Semana
Luva Nitrílica	30 dias	01 Mês	08 dias	01 Semana
Botina de Segurança	180 dias	06 Meses	250 dias	10 Meses
Óculos de Segurança	90 dias	03 Meses	08 dias	01 Semana
Luva Pigmentada	08 dias	01 Semana	08 dias	01 Semana
Luva de Raspa	30 dias	01 Mês	08 dias	01 Semana

Tabela 5 - Parâmetros de temporalidade de substituição.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2016).

Adotado os parâmetros da Tabela 6, copiou-se no Gráfico 2 que se segue, um segundo comparativo referente ao custo mensal de cada função do estrato 05. De acordo com o gráfico se faz necessário um reajuste médio de 55% no custo mensal de cada função do estrato, de forma a equilibrar o orçamento da obra em seu replanejamento.

A equação 06 abaixo, foi utilizada no *excel* para se compor a memória de cálculo do custo mensal.

$$CM1 = \left[\sum \left(\frac{PF}{FS1} \times Cu1 \right) + \left(\frac{PF}{FS2} \times Cu2 \right) + \dots + \left(\frac{PF}{FSn} \times Cun \right) \times E \right] \quad (6)$$

Onde

CM1 = Custo mensal da função XXX (Reais)

PF = Permanência da função na obra (meses)

FS = Frequência de substituição do EPI (meses)

E = Quantidade de Empregados na função XXX

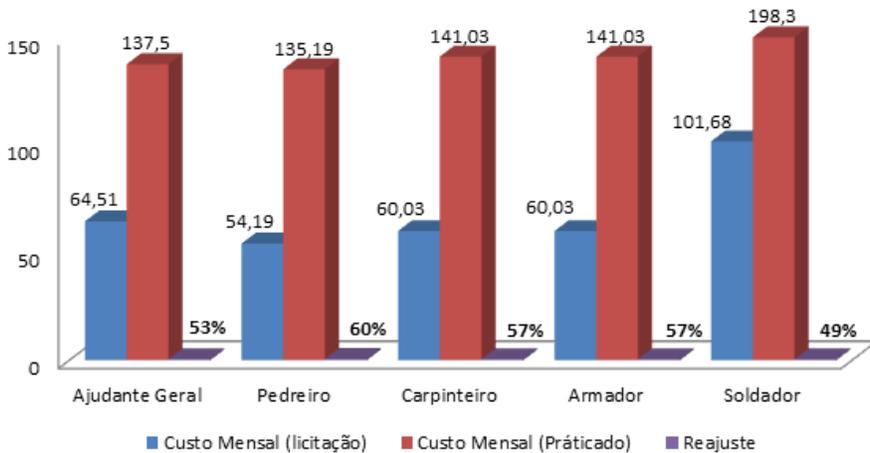


Gráfico 2 - Comparativo de custo mensal.

Fonte: Elaborado pelo Autores (2016).

Um segundo ponto relevante que impacta de forma significativa no custo dos EPIs, é o absenteísmo ou turn-over, no Gráfico 3 que se segue, copiou-se o tempo médio de permanência das funções do estrato na obra.

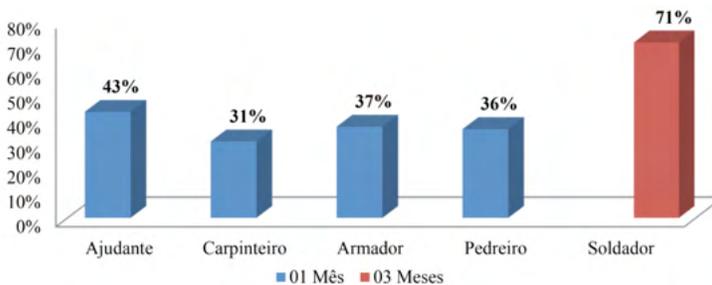


Gráfico 3 - Tempo de permanência da função no estabelecimento.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2016).

Conforme observado, em 43% dos casos os empregados lotados na função Ajudante permanecem apenas 30 dias no estabelecimento, ocasionando a necessidade de reposição de mão de obra e assim gerando um impacto financeiro significativo com treinamento, exames médicos, alimentação e EPIs. Em contra partida a função de Soldador com maior nível de qualificação permanece mais tempo na obra, com 71% dos funcionários permanecendo no mínimo 90 dias. Esta informação implica no fato que alguns dos EPIs que estes funcionários recebem acabam sendo descartados na obra sem nenhum critério de avaliação ou possibilidade de higienização para reaproveitamento. Outros no entanto, nem mesmo possuem esta possibilidade como é o caso dos cremes de proteção e luvas mais frágeis (nitrílica ou pigmentada).

Uma solução para se atenuar tal custo é considerar o índice de turn-over, sobre o custo mensal, aplicando a equação 7, a seguir:

$$CR1 = CM1 \times Tx \text{ (turnover)} \quad (7)$$

Onde:

CR1 = Custo de reposição

CM1 = Custo mensal da função xxx com EPI;

Tx = Taxa de turnover da função xxx.

Apesar dos custos mensais se apresentarem com necessidade de reajuste significativos, é importante destacar que o cenário pode ser ainda mais preocupante, já que este estudo de caso apurou apenas 33% das funções do estabelecimento, conforme demonstrado no Gráfico 4 abaixo:

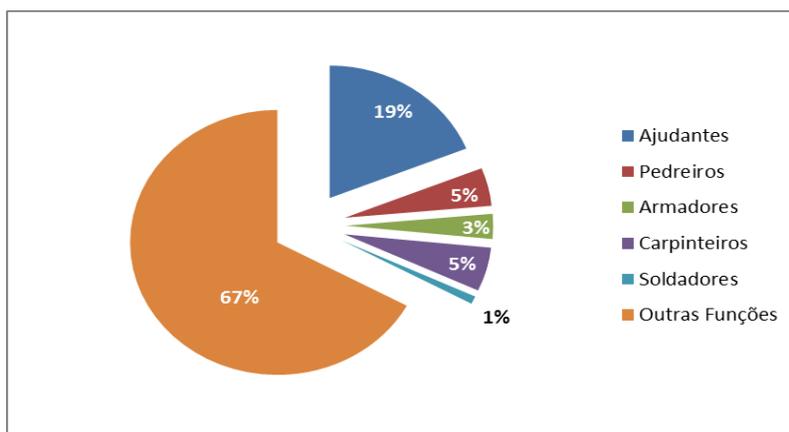


Gráfico 4 - Representatividade das funções no estabelecimento.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2016).

Para análise do impacto financeiro, utilizou-se a Equação 8 para compor o custo

total com EPIs a partir de parâmetros de temporalidade adotados na licitação *versus* custo total obtido a partir da temporalidade apuradas neste artigo. Não se considerou nessa análise o custo de reposição. Os resultados foram copilados no Gráfico 5 a seguir:

$$\text{Custo Total} = \sum_{i=1}^n CM1 + CM2 + \dots + CMn \quad (8)$$

Onde :

CT = Somatório do custo mensal dos estratos

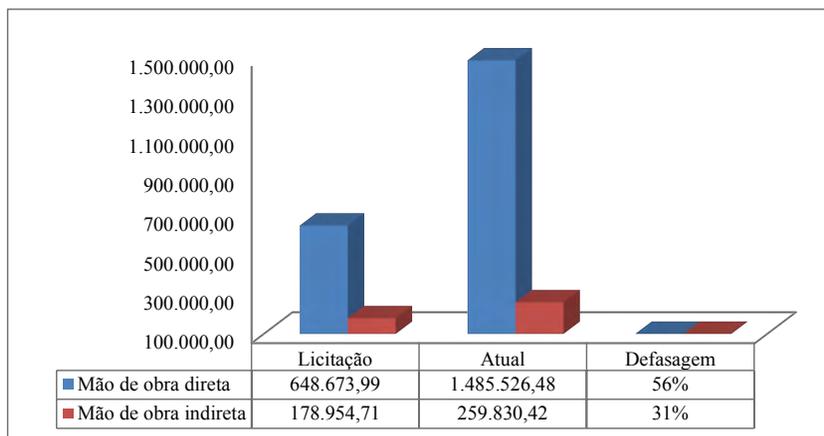


Gráfico 5 - Comparativo de Impacto Financeiro.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2016).

Como visto o estabelecimento apresentou uma defasagem acumulada em despesas com EPIs de 87% o que gerou um impacto financeiro de R\$ 917.728,20 (somando recursos disponibilizados a mão de obra direta e indireta). Considerando que o estabelecimento se encontra em atividade este impacto tende a aumentar se nenhuma decisão estratégica for tomada.

Uma solução para tal cenário, seria a compra em grande escala, ou seja, negociar valores competitivos em função do grande volume previsto a ser consumido. Segundo o setor de suprimentos essa modalidade de aquisição não é praticada para este tipo de insumo, apenas a compra no varejo para reposição imediata. No entanto a Tabela 7 que se segue, demonstra como essa mudança de modalidade de aquisição pode ser vantajosa e auxiliar na redução de custo. Destaca-se que na elaboração da tabela foi considerado o horizonte de existência da obra conforme seu cronograma físico, além de tomar como parâmetro quantidade real de empregados nas funções do estrato até o mês de novembro de 2016 e assim simulou-se a consumação prevista, a partir dos parâmetros de temporalidade substituição dos EPIs apurados neste artigo.

EPIs	Consumação Prevista	Custo Unitário (R\$)	01º Custo Total (R\$)	Faixa de produção negociável	02º Custo Total (R\$)	Total (R\$)	% (Desconto)
Luva Nitrílica	6.340	7,40	46.916,00	> 3.000 Unid.	4,80	30.432,00	35,14%
Botina de Segurança	317	35,00	11.095,00	> 200 Pares	29,00	9.193,00	17,14%
Luva Vaqueta	6.340	7,50	47.550,00	> 3.000 Unid.	4,00	25.360,00	46,67%
Óculos de Segurança	6.340	4,20	26.628,00	> 3.000 Unid.	3,50	22.190,00	16,67%
Luva de Raspa	6.340	6,05	38.357,00	> 3.000 Unid.	4,00	25.360,00	33,88%
Total	25.677	-	170.546,00	-	-	112.535,00	-
Desconto Acumul.							66%
Economia							R\$58.011,00

Tabela 6 - Análise de viabilidade econômica para aquisição de escala.

Fonte: Elaborado pelos Autores (2016)

Nota-se que enquanto a defasagem de orçamento do insumo EPIs no estabelecimento chega a 87% a modalidade proposta considerando apenas o estrato amostrado, permite uma economia acumulada de 66%, reduzindo consideravelmente o desvio orçamentário.

5 I CONCLUSÃO

O presente artigo teve como intenção propor uma metodologia de composição de custo, que pudesse ser aplicada como umas das técnicas da engenharia de custos, empregando-a na orçamentação dos encargos complementares, em especial, aos equipamentos de proteção individual. Esta metodologia se mostrou mais fundamentada do ponto de vista técnico, eliminando assim estimativas arbitrárias e subjetivas.

Ainda que este insumo represente uma despesa próxima a 2 milhões de reais, ele não recebeu a devida atenção dos orçamentista, por representar pouco mais de 0,5% do custo total da obra. Porém, o que se espera com este artigo é demonstrar que este insumo pode oferecer um diferencial competitivo ao se manipular os parâmetros de temporalidade de substituição dos EPIs, claro que sempre dentro das devidas margens de segurança estatística, podendo assim ser este um item que pode vir a contribuir nas etapas de leilões licitatórios.

Desse modo, conclui-se ser uma metodologia satisfatória do ponto de vista técnico, podendo a empresa, objeto de estudo deste artigo, adotar os parâmetros aqui estabelecidos como referência para futuros processos licitatórios. No entanto é de extrema importância o gerenciamento deste custo durante a execução da obra ajustando-o conforme realidade local. A opção de não fazê-lo mostrou-se arriscada ao se registrar uma defasagem de 87% do custo previsto para o realizado.

Por fim, a proposta no modelo de aquisição do insumo demonstrou-se eficiente, beneficiando a obra com uma economia acumulada significativa. Além é claro que a descoberta de um desvio orçamentário de forma prévia permite as lideranças estratégicas da obra, traçar planos de viabilidade econômica para ajustar as defasagem ao orçado.

Caso venha a sobrar equipamentos de proteção individual, este também possui a opção e retornar para o almoxarifado central da empresa, sendo redistribuído seu custo na próxima obra a ser iniciada.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, R. **Sondagens e Estudos de Opinião**. Amostragem aleatória estratificada. 2011. Disponível em: <<https://sondagenseestudosdeopinioa.wordpress.com/amostragem/amostras-probabilisticas-e-nao-probabilisticas/amostragem-aleatoria-estratificada/>> Acesso em: 16 jun. 2021.

ARKIN, Herbert.; COLTON, Raymond R.. **Tables for Statisticians**. 2.ed. Brasília: SEBRAE, 1995.

BARROS, A. J. S.; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de metodologia**: um guia para a iniciação científica. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

BRASIL. Portaria n.º 3.214, 08 de junho de 1978b. Aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. Disponível em < https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=9CFA236F73433A3AA30822052EF011F8.proposicoesWebExterno1?codteor=309173&filename=LegislacaoCitada+-INC+5298/2005> Acesso em: 16 jun. 2021.

_____. Lei n.º 8.666, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o Art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8666cons.htm>. Acesso em: 16 jun. 2021.

CEF. Sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil. **Manual de metodologias e conceitos**. 2 jun. 2014.

CARBONERO, Georgina. **Orçamentos de obras públicas**: Parâmetros de composições do bônus e despesas indiretas – bdi, incidentes sobre as despesas diretas e dos encargos sociais e trabalhistas, incidentes sobre a mão-de-obra, referentes às obras da secretaria de estado de obras públicas do Paraná – SEOP PR. Disponível em: <<https://silo.tips/download/universidade-federal-do-parana-programa-de-pos-graduacao-em-gestao-de-obras-publi> . Acesso em: 16 jun. 2021

CONSTRUTORA β. **Plano de Gestão de Obra**, 2016. Belo Horizonte, 2016.

CRESPO, Antônio Arnot. **Estatística Fácil**. São Paulo: Saraiva, 2002. Disponível em: <https://www.academia.edu/15104473/Livro_Estat%C3%ADstica_F%C3%A1cil_Ant%C3%B4nio_Arnot_Crespo_Ed_Saraiva> Acesso em: 16 jun. 2021.

DIAS, Paulo Roberto Vilela. **Engenharia de custos**: metodologia de orçamento para construção civil. 9. ed. Paraná: Copiare, 2011. Disponível em: <paulorobertovileladias.com.br/wp/downloads/Engenharia%20de%20custos.pdf> Acesso em: 16 jun. 2021.

DUARTE, Lucas Santos. **Desenvolvimento de planilha eletrônica genérica para orçamento de obras residenciais de pequeno porte**. Curitiba, 2012. Disponível em: < http://repositorio.roca.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/1274/1/CT_GEOB_XVII_2011_18.pdf > Acesso em: 28 de out de 2016.

FONSECA, Jairo Simon da; MARTINS, Gilberto de Andrade. **Curso de estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONZALEZ, Marco Aurélio Stumpf. **Noções de Orçamento e Planejamento de Obras**. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Ciências Exatas e Tecnológicas, São Leopoldo, 2008. Notas de aula. Disponível em: <https://www.grancursospresencial.com.br/novo/upload/ORCAMENTO_PLANEJAMENTO_OBRAS_14_05_2010_20100514171559.pdf> Acesso em: 16 jun. 2021.

KERN, Andrea Parisi. Proposta de um planejamento e controle de custos de empreendimentos de construção. Tese de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5722>> Acesso em: 16 jun. 2021.

MARCONDES, Fernando. As incertezas do cenário atual e o futuro do setor de construção e infraestrutura. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE O DIREITO DA CONSTRUÇÃO, 3., 1 nov. 2014, Brasília. **Anais eletrônicos...** Brasília. Disponível em: <<https://www.revistafatorbrasil.com.br/imprimir.php?not=279228>> Acesso em: 16 jun. 2021.

OLIVEIRA, Carla Milanese de. Curva ABC na gestão de estoque. IN: III ENCONTRO CIENTÍFICO E SIMPÓSIO DE EDUCAÇÃO UNISALESIANO, 17 a 21 de out de 2011, Lins. **Anais eletrônicos...** Brasília. Disponível em: <<http://www.unisalesiano.edu.br/simposio2011/publicado/artigo0075.pdf>> Acesso em: 28 de out de 2016.

ROCHA, Nelson Fernando Cabeda. **Análise de sensibilidade dos estudos de viabilidade na construção de empreendimentos**, 2009. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59301/1/000142432.pdf>>. Acesso em 16 jun. 2021.

SILVA, C. R. do. **Metodologia do trabalho científico**: guia prático. Fortaleza: Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, 2004.

SESI. Serviço Social da Indústria. Departamento Regional da Bahia. Legislação Comentada: **Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde do Trabalho**. Salvador, 2008.

SICEPOT. **Cenário da Construção Pesada em Minas Gerais**, marc 2016. Disponível em: <<http://www.sicepot-mg.com.br/imagensDin/arquivos/8295.pdf>> Acesso em: 16 jun. 2021.

SPINELLI, Mário Vinícius Claussen; LUCIANO, Vagner de Souza. **Apostila Licitação e contratos**. Controladoria Geral da União. Brasília: CGU, 2012. Disponível em: < <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/209930/Apostila-de-Licita%3%a7%c3%b5es-e-Contratos-Administrativos-CGU.pdf?sequence=1&isAllowed=y> > Acesso em: 16 jun. 2021.

TAVES, Guilherme Gazzoni. **Engenharia de custos aplicada à construção civil**. Disponível em: < <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011477.pdf> >. Acesso em: 16 jun de 2021.

TISAKA, Maçahiko. **Orçamento na construção civil**: consultoria, projeto e execução. São Paulo: Pini, 2010.

TCU. TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Orientações para elaboração de planilhas orçamentárias de obras públicas**. Tribunal de Contas da União, Coordenação-Geral de Controle Externo da Área de Infraestrutura e da Região Sudeste. Brasília: TCU, 2014.

VALE. **O caminho onde passa a nossa riqueza**. 2016. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/pt/initiatives/innovation/carajas-railway/paginas/default.aspx>>. Acesso em: 16 de jun. 2021.

AVALIAÇÃO DE RISCOS E CONTROLE DE SEGURANÇA EM PEDREIRA

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 28/05/2021

Michael José Batista dos Santos

Universidade Federal do Oeste do Pará
(UFOPA), Campus Regional de Juruti
Juruti – Pará
<https://orcid.org/0000-0002-9958-9868>

Suzi Cardoso de Carvalho

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
(UFRGS)
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<https://orcid.org/0000-0002-9189-1958>

Irineu Antônio Schadach de Brum

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Escola de Engenharias,
Departamento de Metalurgia
Porto Alegre – Rio Grande do Sul
<https://orcid.org/0000-0003-4852-8325>

RESUMO: A segurança no ambiente de trabalho é de suma importância para a integridade física e mental dos colaboradores. Este cuidado garante a promovendo o bem-estar e, conseqüentemente, aumentando a produtividade, além de evitar prejuízos materiais, afastamento e ações judiciais contra a empresa. A mineração apresenta o grau de risco mais elevado, o risco grau 4, segundo classificação da Norma Regulamentadora quatro (MTE, 2008), grande exposição do trabalhador ao risco e na ocorrência de acidentes. Este trabalho identifica, analisa e avalia os riscos de segurança em uma pedreira. Aplicou-se as ferramentas

de gestão de risco WRAC (Workplace Risk Assessment Control) e bowtie. A partir dos resultados foram sugeridas medidas de controle. Concluiu-se a saúde e segurança do trabalho na pedreira é essencial, tais sugestões devem ser consideradas no planejamento financeiro empresarial.

PALAVRAS-CHAVE: Segurança de mina; WRAC; bowtie; pedreira.

RISK ASSESSMENT AND SAFETY CONTROL AT QUARRY

ABSTRACT: The workplace safety is one of the major importance to the company's financial health. This care ensures physical and mental integrity of the employees, promoting well-being and, consequently, it increases productivity, besides, it avoids material damage, work leave and lawsuit against the company. The mining activity presents the highest level of risk, which is level four (MTE, 2008), It means a great exposition of safety risk and to the accident occurrence for workers. Thus, this article evaluates the security risks at a quarry mining. It applies the management tools WRAC (Workplace Risk Assessment Control) and Bowtie. Through the results, controlling measures were suggested. In conclusion, there are a great number of measures and it can improves the security in this evaluated workplace. The security suggestions must be taking into account to control risks and the company's financial planning.

KEYWORDS: Mine security; WRAC; bowtie; quarry mining.

1 | INTRODUÇÃO

A mineração possui especificidades legais que outros empreendimentos não possuem, diferindo da construção civil por exemplo. O Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), que é exigido pela norma regulamentadora número nove (NR9) para inúmeras atividades de trabalho, é dispensável para a Mineração, alternativamente é aplicado o Programa de gestão de risco PGR, como exposto na norma vinte e dois (NR22) o qual também visa a segurança em ambiente de trabalho, contudo, o documento é direcionado à mineração. Este artigo tem como objeto de estudo uma pedreira localizada no estado do Pará. Os dados aqui apresentados foram coletados através acompanhamento de todas as atividades desenvolvidas na pedreira, conversas e reuniões com colaboradores. Todas essas informações foram devidamente documentadas e registradas para a execução deste trabalho.

A metodologia utilizada em cada etapa foi a identificação por meio de mapa de risco do croqui da pedreira, enquanto a análise e avaliação foram realizadas por método semiquantitativo, intitulado WRAC (Workplace Risk Assessment and Control), que pode ser traduzido como controle de riscos no ambiente de trabalho e com seus resultados se realizou sugestões de controle dos riscos ocupacionais. É importante ressaltar que esta técnica vem sendo aplicada com sucesso em empreendimentos minerários de todas as dimensões em grandes países mineradores como Austrália, Canadá e Estados Unidos desde o final da década de 80 (DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES, 1997). Segundo Leinfelder (2016) o WRAC é uma ferramenta que pode ser utilizada para cumprir parte do programa de gerenciamento de risco (PGR) previsto na Norma Regulamentadora número 22 (segurança e saúde ocupacional na mineração). O trabalho desenvolvido por Leinfelder é uma aplicação com êxito do método WRAC em uma pedreira brasileira.

2 | INFORMAÇÕES SOBRE A PEDREIRA

A pedreira não terá sua localização exata e seu nome divulgados, mas será chamada de pedreira paraense. Neste ano de 2021, a pedreira completa 60 anos de produção de brita, no início sua logística até a capital, Belém, era efetuada por meio de transporte ferroviário. Hoje a cava possui cerca de 45 metros de profundidade e aproximadamente 210 metros de diâmetro. A sua produção mensal gira em torno de 3.000 metros quadrados. A área da mina é estimada em 100 hectares. A produção diária chega a 300 metros cúbicos. A média mensal é de nove mil metros cúbicos de brita, utilizada principalmente para a construção civil em obras públicas e particulares. Nesta proporção da vista da pedreira paraense (Figura 1), obtida pela ferramenta Google Maps®, a cada dois centímetros estão sendo representados 100 metros de extensão real do terreno.



Figura 1 - Local de desenvolvimento do trabalho.

Fonte: GOOGLE MAPS, 2020.

Tem-se na imagem da esquerda para a direita (do leitor): a estrada de entrada e saída ao empreendimento; a moradia do gerente, o alojamento e o refeitório; o escritório, o depósito e a oficina; o pátio de britagem, que está completamente coberto por partículas de brita em branco à parte superior da imagem e, finalmente, a cava de onde se lava a brita. Geologicamente favorável do ponto de vista econômico, o maciço rochoso que origina a brita, é um granito, rochas de origem vulcânica, sendo única na região devido a sua pouca profundidade de ocorrência.

Na pedreira são realizadas inúmeras atividades que representam riscos à segurança dos colaboradores, foram abordadas neste trabalho aquelas que possuem o grau de criticidade mais elevado. Neste aspecto, as atividades de grande relevância são descritas neste tópico, são elas: atividades do ciclo de produção da mina (Figura 2) e atividades auxiliares (Figura 3) que em sua maioria são executadas na manutenção do pátio de britagem que segue fluxograma de produção próprio (Figura 4). Ademais, manutenção de equipamentos na oficina utiliza alguns equipamentos que representam risco a saúde e segurança do funcionário.

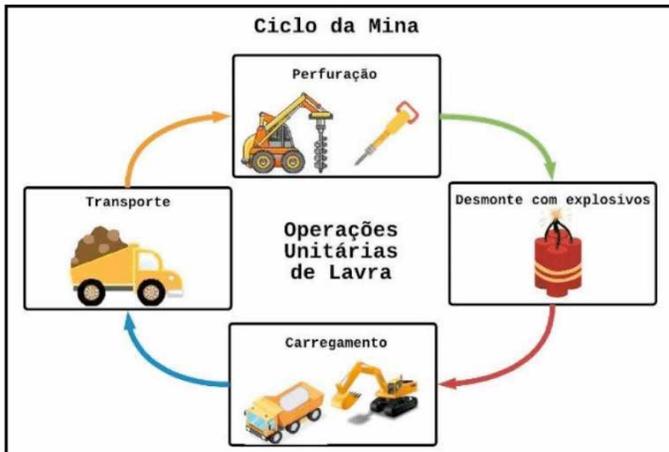


Figura 2 - Sequência de atividades desenvolvidas na lavra.



Figura 3 - Representação das atividades auxiliares de grande risco.

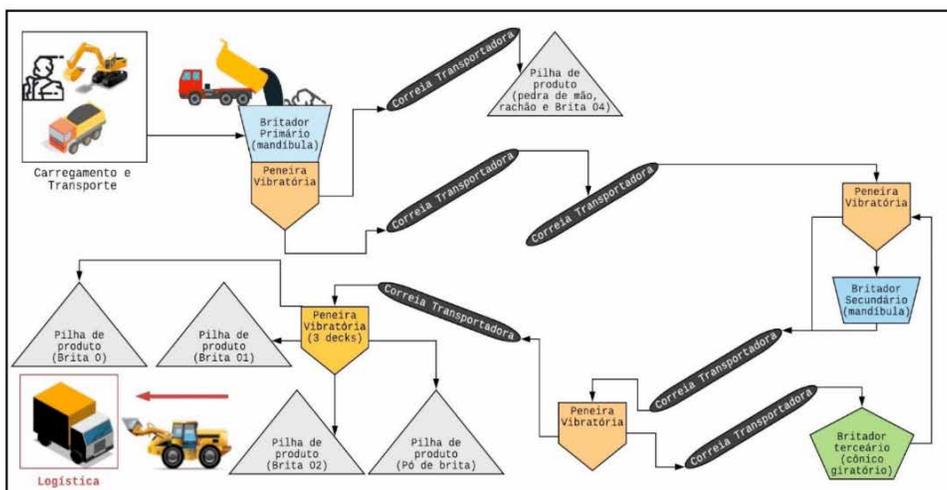


Figura 4 - Fluxograma de Britagem.

A lavra, que corresponde ao conjunto de atividades cíclicas de perfuração, desmonte, carregamento e transporte, apresenta seus riscos e intensidades distintas para cada operação. Durante as atividades de lavra, pode ocorrer inúmeros problemas de segurança ocupacional, como quedas de fragmentos de rocha e queda de taludes instáveis ou mesmo atropelamentos podem ocorrer durante a jornada de trabalho devido ao fluxo de maquinários e de veículos comuns que auxiliam na mobilização de pessoas, a lavra possui poucos bancos, como mostra a Figura 5, já que o estéril removido era mínimo e o corpo mineral de alta competência geotécnica.



Figura 5 - Mina com o método de lavra em bancadas.

A perfuração é a atividade de fazer furos no maciço rochoso, preparando-o para a etapa seguinte, que é a alocação dos explosivos dentro dos furos. A detonação dos explosivos é a responsável pelo desmonte de rocha, ou seja, converte o maciço rochoso em pedaços menores. Estes materiais rochosos de menores dimensões são, finalmente, ideais para a alimentação do britador no pátio de britagem. A detonação, apesar de gerar ruído, não afeta as pessoas, já que é exigida, por medidas de segurança, manter grande distância do local de detonação. O plano de fogo é o esquema de detonação no qual é sequenciado o tempo de detonação de cada explosivo, através de acessório de detonação. É válido ressaltar que estes materiais não são armazenados na pedreira, eles chegam de empresa terceirizada e são totalmente utilizados ao final do serviço contratado. O plano de fogo, na realidade, inicia-se no momento em que é decidido o arranjo dos furos da perfuração e é concluído com a detonação. Na Figura 13 se observa a execução do plano de fogo, alocando os explosivos nos furos e realizando a “amarração” das conexões entre os diferentes furos. Existe uma distância mínima necessária que é obrigado a se manter do local da detonação.

A atividade de carregamento se trata do despejo do material rochoso desmontado na

báscula do caminhão, atividade executada pela escavadeira. Os riscos que estão presentes na atividade de carregamento são evidenciados pela intensa vibração no interior dos veículos durante a descarga de material rochoso proveniente da escavadeira para a caçamba do caminhão, a intensidade da vibração é grande sobretudo na cabine do caminhão que recebe a carga e transporta, causando grande desconforto ao condutor.

O transporte consiste em levar o material rochoso desmontado para servir de alimentação para o britador primário. Considera-se que o despejo do caminhão basculante conclui esta atividade. No transporte da mina para o pátio de britagem os riscos são de trânsito de mina, queda entre bancos (bancadas do talude), queda de blocos do alto de taludes sobre os caminhões e escavadeiras, e acidentes entre os maquinários, principalmente entre caminhões, ainda que a velocidade na mina seja limitada em quarenta quilômetros por hora, no período chuvoso todos esses possíveis acidentes ocorrem mais facilmente, principalmente por deslizamento das rodas dos caminhões. O tráfego de caminhões depende da demanda do material, em determinadas épocas do ano um grande número de caminhões basculantes circula na área entre a mina e o britador. Os trabalhadores que atuam no pátio de britagem (Figura 6) setor de britagem e peneiramento, sejam em manutenções preventivas ou preditivas, reparos, trocas de peças, mudanças no processo, ou que circulam pela área, estão expostos a riscos como poeira, ruído, àqueles relacionados à ergonomia, vibração, partes móveis e a incêndios.



Figura 6 - Pátio de Britagem.

Durante a britagem primária, secundária e, principalmente, peneiramento ocorre a produção de material rochoso ultrafino disperso no ar, sendo ainda maior do que nas operações de lavra e, por isso, o cuidado no pátio de britagem deve ser redobrado quanto ao uso de máscaras que protegem contra a aspiração deste particulado.

O pátio de britagem, apesar de ser um local a céu aberto, ele tem um espaço limitado onde circula equipamentos além dos caminhões responsáveis pela logística de entrega do

produto final, ainda há outros veículos como carregadeira que retoma as pilhas dos produtos finais (Britas de diferentes granulometrias), compondo um trânsito de equipamentos que se mescla a livre circulação dos funcionários, não havendo uma delimitação de por onde é a passagem de pedestres e onde seria a passagem de veículos.

O local é em sua maior parte aberto, bem arejado, fica ao lado do depósito. O ambiente tem duas bancadas de madeira para trabalhos que necessitem de suportes como mesas.

Além de materiais metalomecânicos ainda existe inúmeros utensílios utilizados na rotina da oficina, tais como maçaricos, lixadeiras, esmeril de bancada, solda, pistola pneumático de retirar parafusos do pneu. Ademais, é válido ressaltar que o local não possui extintores. A soldagem do maquinário da pedreira é uma atividade quase que diária, perante o desgaste natural das peças.

Algumas Atividades auxiliares foram identificadas como sendo tarefas de risco significativo e, portanto, foram analisadas e avaliadas posteriormente, são elas: limpeza do alimentador de correias, içamento de carga e manutenção de correias.

O alimentador de correia é uma estrutura que fica na parte externa do pátio e vai auxiliar no desvio de fluxo de material rochoso britado de uma direção para outras, primeiro recebe a brita ao final de uma correia transportadora e a correia transportadora seguinte se inicia dentro do alimentador. Ao longo do dia, o alimentar vai acumulando muita brita, que pode entupir o alimentador e fazendo que a correia transporte cada vez menos material (redução de eficiência). Especialmente, por causa dos finos, ocorre o travamento da passagem da brita, para poder seguir para a próxima etapa de cominuição ou classificação granulométrica final (peneiramento).

O procedimento de limpeza é feito com as correias desligadas. O alimentador é suficientemente grande para “abrigar” uma pessoa dentro dele. Com frequência se faz necessária a limpeza do alimentador de correia.

Todas as vezes que peças extremamente pesadas proveniente ou de maquinários ou do pátio de britagem precisam de reparo, como, por exemplo, os próprios britadores e seus respectivos motores, elas são encaminhadas para a oficina e posteriormente, após o reparo, retorna para seu local de operação.

Similarmente peças novas significativamente pesadas são trocadas para substituir as antigas.

Para a realização destas tarefas é necessário elevar as cargas e isto geralmente é feito através do içamento das mesmas com maquinários altos como, por exemplo, a própria escavadeira hidráulica utilizada para o carregamento de caminhões na lavra, exatamente como se verifica na Figura 7. É importante ressaltar que as cargas suspensa sobre o trabalhador são de mais de duzentos quilos e o mesmo se encontra de boné, ao invés do capacete de proteção.



Figura 7 - Içamento de carga.

Fonte: Elaborada pelo autor.

As correias, diferentemente das peças dos britadores, são estruturas físicas que não são retiradas para manutenção, e são reparadas em seu local fixo de operação enquanto estão desligadas. São esteiras suspensas rolantes responsáveis pela condução do material durante a cominuição e o peneiramento no pátio de britagem. A manutenção das correias transportadoras é sempre realizada com cinto e com a obrigação de utilizar qualquer EPI, pelo menos em teoria.

3 | METODOLOGIA

Metodologias diferentes foram combinadas neste trabalho, primeiramente para a identificação dos riscos presentes na pedreira, que seguiu as recomendações da legislação brasileira vigente. Para analisar e avaliar os riscos identificados na primeira etapa foi utilizado o método de controle de risco em ambiente ocupacional, o chamado WRAC (Workplace Risk Assessment Control), trata-se de um método consagrado para a atividade mineradora de qualquer porte. A atividade que for definida como de maior risco será avaliada também com a ferramenta Bowtie, a qual faz uma associação lógica e direta de causa e feito, para que a atividade com maior risco seja mais detalhadamente avaliada.

A partir da portaria N.º 25, DE 29 DE DEZEMBRO DE 1994 foi acrescentado o anexo IV à Norma Regulamentadora número 5 faz referência ao mapa de risco, instrumento que objetiva reunir as informações essenciais para o diagnóstico da situação de segurança da organização, além de possibilitar a troca de conhecimento e divulgar informações de riscos à saúde e segurança do trabalho dos colaboradores.

A elaboração do mapa de risco se inicia o conhecimento do processo no local de trabalho analisado, segue para a identificação dos riscos existentes (segundo o tipo de risco) de acordo com a cor padronizada no Quadro 1, indica o número de trabalhadores expostos aquele risco, prossegue com a identificação das medidas preventivas existentes e sua eficácia continua através dos indicadores de saúde, relata e registra as causas mais frequentes de ausência do trabalho. A elaboração deste mapa deve ser feita sobre o layout da empresa, indicando por meio de círculo. A intensidade do risco deve ser representada por tamanhos diferentes de círculos segundo a percepção dos trabalhadores. O mapa também deve conter o número de trabalhadores expostos ao risco e a especificação do agente. O Quadro 01 apresenta os riscos classificados segundo sua natureza e de acordo com a legislação atual vigente no Brasil.

VERDE	VERMELHO	MARROM	AMARELO	AZUL
RISCOS FÍSICOS	RISCOS QUÍMICOS	RISCOS BIOLÓGICOS	RISCOS ERGONÔMICOS	RISCOS ACIDENTES
Ruídos Vibrações Radiações ionizantes (raio x, alfa gama) Temperaturas extremas: Frio Calor Pressões anormais Umidade	Poeiras Fumos Névoas Néblinas Gases Vapores Substâncias, compostos ou produtos químicos em geral.	Vírus Bactéria Protozoários Fungos Parasitas Bacilos Sangue	Esforço físico intenso Exigência de postura inadequada (local de trabalho inadequado) Transporte manual de peso Postura inadequada Controle rígido de produtividade Imposição de ritmos excessivos Outras situações causadoras de stress físico e/ou psíquico.	Arranjo físico inadequado Piso escorregadio Máquinas e equipamentos sem proteção Ferramentas inadequadas ou defeituosas Iluminação inadequada Eletricidade Probabilidade de incêndio ou explosão Animais peçonhentos. Outras situações de risco que poderão contribuir para a ocorrência de acidentes.

Quadro 1 - Classificação dos riscos ocupacionais em grupos de acordo com a sua natureza e a padronização das cores correspondentes.

Fonte: MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 1994.

As ferramentas de análise e avaliação de risco têm a função de definir um processo a partir da orientação de uma metodologia, capaz de calcular o risco de um certo evento. Existem muitas técnicas e ferramentas para realizar análises de risco de segurança, para análises qualitativas, quantitativas e semi-quantitativas.

Pedro (2006) argumenta que os métodos qualitativos se caracterizam por descreverem ou esquematizarem os riscos de uma função ocupacional ou instalação, sem que se alcance a quantificação dos riscos. O grau de segurança é frequentemente determinado em função da conformidade da instalação, dos processos e dos procedimentos com as normas e regulamentos de segurança aplicáveis e demais regulamentações que

também apresentam força de lei. Os métodos qualitativos são essencialmente ferramentas de identificação e registro dos riscos existentes como o método *checklist* por exemplo.

O método quantitativo como o próprio nome indica são os métodos capazes de quantificar e atribuir um valor à probabilidade da ocorrência de determinado evento. Portanto, nestes métodos os eventos estão associados a um valor estimado e, conseqüentemente, estima-se a dimensão dos possíveis prejuízos, como o método da árvore da decisão (PEDRO, 2006).

Uma alternativa aos métodos qualitativos e quantitativos são as ferramentas de análise de risco semiquantitativas, as quais são compostas por uma fase de identificação de risco. Neste tipo de análise alternativa o risco não é um valor numérico direto, na realidade, trata-se do resultado da combinação de probabilidade e severidade, envolvendo uma classificação em faixas ou níveis de riscos (LEINFELDER, 2016).

Este trabalho aborda a análise e avaliação de risco a partir da ótica de um método semiquantitativo o WRAC (*Workplace Risk Assessment Control*). O WRAC é uma ferramenta participativa muito poderosa no sentido de identificar perdas potenciais de operação, produção e manutenção. Esta técnica vem sendo comumente aplicada com sucesso na mineração desde 1989.

WRAC consiste no método semiquantitativo capaz de examinar uma área específica ou o ambiente de trabalho em sua totalidade no sentido de garantir o entendimento de cada um dos riscos para que estes sejam identificados e controlados, mantendo-os em um nível aceitável e cada vez menor. Utiliza-se também de abordagem matricial para definir nível de risco proveniente de estimativas de conseqüências e probabilidade (STANDARDS NEW ZEALAND, 1999).

O WRAC é feito de acordo com o passo-a-passo do método pela equipe de trabalhadores da mina, guiando-os através da verificação dos processos ou operações a serem revistos.

A equipe de trabalhadores deve contemplar os diferentes departamentos da mina, o time deve conter diferentes tipos de trabalhadores como engenheiros, supervisores de produção e manutenção, operadores, eletricitas entre outros. O método é composto essencialmente pelos seguintes passos:

O primeiro passo consiste no diálogo com os colaboradores. Os participantes contribuem para a avaliação de risco do equipamento, o tipo de perigo a ser considerado (ao equipamento, pelo equipamento, ou ambos) e os resultados esperados da avaliação, por exemplo, guia operacional, especificações de compra, modificação de design e etc.).

No segundo passo uma lista de riscos e suas conseqüências é construída. É dado à equipe as diretrizes das áreas de perigo que precisam ser examinadas. Essas áreas são definidas segundo dados históricos ou questões técnicas (quando possível), criando uma lista de tipos de riscos e conseqüências.

O fluxograma dos processos e operações é o terceiro passo. O modelo de processos

para operações específicas é útil para desenvolver com a equipe no intuito de rever passos relevantes em suas operações. Um fluxograma do modelo é frequentemente usado para criar uma imagem clara no processo operacional (como feito nas Figura 2, Figura 3 e Figura 4).

Identificações extras nas atividades é o quarto passo. Algum desvio operacional razoável do modelo do processo (planejado ou não) que pode ter uma ocorrência provável deve ser identificado e adicionado ao fluxograma.

No quinto passo a Identificação deve ser concluída minuciosamente. Uma revisão do modelo deve ser feita, passo-a-passo. O quadro 2 apresenta o modelo no formato WRAC de identificação “*what if*” para os incidentes que possam vir a ocorrer, os quais são utilizados neste momento da análise.

O sexto passo consiste na formação do quadro de risco (fator de probabilidade). Uma classificação (ranque) de riscos é criado para cada cenário de perda, definindo o risco como uma combinação de consequências e probabilidade, podendo envolver pessoas, equipamentos e perda de produção. Métodos de pontuação quantitativa são usados, um exemplo de abordagem qualitativa de riscos. A probabilidade de ocorrência do evento é classificada em cinco categorias no *handbook* da indústria mineral australiana: **A**. Evento de ocorrência frequente, recorrência; **B** Evento que já ocorreu antes; **C** Evento de ocorrência provável; **D** Evento de ocorrência improvável; **E** Praticamente impossível de ocorrer o evento;

O sétimo passo é a formação do Quadro de risco (fator severidade) para este trabalho não foi considerado as consequências em termos de danos em equipamentos e produção que são mensurados por moeda econômica como dólares ou reais. Por isso, focou-se nos danos à saúde humana e aos danos materiais, que são classificados nos cinco tipos a seguir:

1. Fatalidade ou incapacidade permanente – danos materiais catastróficos;
2. Grande período de afastamento ou doença – danos materiais elevados;
3. Médio período de afastamento ou doença – danos materiais substanciais;
4. Curto período de afastamento ou doença – danos materiais moderados;
5. Sem grandes prejuízos a integridade física e sem perda de tempo – danos materiais leves. Vale a pena ressaltar que o guia da indústria mineral define os danos materiais de acordo com os valores monetários de prejuízos em termos de equipamentos e perda de produção.

Para este trabalho se considerou como curto período de afastamento até 15 dias corridos. Enquanto que médio período indica um tempo de afastamento compreendido de 15 dias e 30 dias.

Por sua vez, grande período corresponde a um tempo de afastamento superior a 30 dias. As três classificações de consequência são frequentemente consideradas, com

o ranque de riscos mais altos em qualquer categoria selecionado segundo o nível de consequência (onde 1 é o maior valor ranque). O método de uso do ranque do risco é apresentado no Quadro 2:

PROBABILIDADE ▼

CONSEQUÊNCIA ►

	A	B	C	D	E
1	1	2	5	7	11
2	3	5	8	12	16
3	6	9	13	17	20
4	10	14	18	21	23
5	15	19	22	24	25

Quadro 2 - WRAC avaliação de risco.

Fonte: Department of Mineral Resources(AUS), 1997.

No oitavo passo é feita a correlação entre probabilidade vs. Severidade. As pontuações servem para ranquear todos os cenários de perda com a finalidade do método do dispositivo para reduzir riscos. As discussões ocorrem por todos os cenários ranques com riscos inaceitáveis (de 1 a 15 do Quadro 2).

Finalmente o grupo identifica, planeja e define métodos de controle potenciais adicionais para reduzir probabilidade e consequências para cada risco, dando prioridade ao maior risco (1 é o risco mais alto). Neste ponto existe uma oportunidade de introduzir melhorias na segurança de engenharia, gestão de sistemas e outros procedimentos de controle de perda.

A análise de possíveis métodos de controle é o nono passo. O exercício é concluído depois da documentação de controles potenciais por prioridade de riscos e os resultados são documentados para ser revisto pelo cliente (geralmente o administrador). Os resultados provenientes do passo 8 devem incluir designs alternativos ou ideais operacionais que possa precisar de discussões adicionais, talvez, análise de custo benefício antes que o plano de ação final seja implementado (DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES, 1997). O produto final do WRAC é a lista atualizada e planejada de novos controles potenciais para reduzir riscos de equipamentos prioritários. Esta lista pode então ser usada para desenvolver outros resultados específicos para o ciclo de vida do equipamento.

Por último foi realizada uma análise e avaliação de risco complementar através do método Bowtie de causa e efeito ocupacional do empreendimento foco do estudo deste trabalho, além de fazer sugestões para mitigar os riscos das atividades que se apresentaram como risco crítico.

4 | DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A identificação de risco foi levantada como exposto no método WRAC e, posteriormente, os dados foram moldados seguindo a portaria N.º 25, de 29 de dezembro de 1994, ou seja, foi realizado com os resultados o mapa de risco por local e por atividade no caso das atividades auxiliares. Construir o mapa de risco de maneira mais completa, mas principalmente por causa que riscos significativos são expostos nestes ambientes também. Por isso, foram incluídos estes quatro ambientes neste estudo. Este tópico discute os riscos identificados sejam eles separados por local ou por atividade. Os riscos identificados e reproduzidos em mapa de risco foram resumidos no Quadro 3.

O quadro indica a dimensão do risco em pequeno, moderado ou grande, a natureza do risco segundo legislação citada acima, apresenta resumidamente exemplos de riscos registrados por atividade e por localização do empreendimento, incluindo inclusive áreas administrativas e de vivência como refeitório e alojamento.

LOCAL/ATIVIDADE	RISCOS					DESCRIÇÃO
ÁREA ADMINISTRATIVA E DE VIVÊNCIA	Físicos	Químicos	Biológicos	Ergonômicos	Acidentes	Exemplificação de alguns riscos
Guarita	-	B	-	-	-	Suspensão de areia com o tráfego de automóveis, ausência de janelas de vidro
Escritório	B	-	B	B	B	Banheiro interditado, papéis antigos, Bebedouro sem manutenção
Cozinha e refeitório	B	-	C	B	M	Alimento (atrai) microorganismos, fios desencapados, altas temperaturas, animais domésticos
Alojamento	-	-	M	-	B	Banheiros interditados, má higiene do local, iluminação mínima e inadequada
OFICINA (manutenção de equipamentos)						
Solda	C	C	-	M	C	Alta temperatura, fumaça, iluminação inadequada
Lixadeira elétrica	M	-	-	M	C	Alta temperatura, fumaça, esforço físico, equipamento sem proteção, iluminação inadequada
Parafusadeira pneumática	M	-	-	M	M	Alta temperatura, fagulhas, centelha, fumaça, transporte manual do cilindro de oxigênio
Maçarico	C	C	-	B	C	trabalha diretamente com chamas, faíscas e fumos, iluminação inadequada
Esméril de bancada	M	-	-	B	C	Geração de fumaça, altura da mesa exige má postura, além de iluminação inadequada
DEPÓSITO						
Galpão enclausurado	B	M	C	B	M	Equipamentos defeituosos, parados, Produtos químicos de veículos, má iluminação, morcegos
LAVRA						
Perfuração	M	C	-	M	C	Carregamento dos furos com Explosivos, grande esforço físico, animais peçonhentos, calor
Desmonte com explosivos	M	C	-	C	C	Vibração, ruído, poeira, ultra lançamento, animais peçonhentos, calor e esforço físico
Carregamento	B	C	-	-	M	Queda do material e colisão de equipamentos
Transporte	B	C	-	-	M	Acidente de trânsito de mina e desprendimento de carga
PÁTIO DE BRITAGEM						
Britagens (1ª & 2ª) e peneiramento	C	C	C	B	C	Ruído, vibração, poeira, ritmo de produtividade, máquinas sem proteção, morcegos
Carregamento e transporte do produto	B	C	-	B	M	Ruído, poeira de produto fino, repetitividade, trânsito do pátio sem sinalização
ATIVIDADES COMPLEMENTARES						
Limpeza do alimentador de correia	M	-	-	C	B	Poeira, ruído, grande esforço físico braçal repetitivo
Çamento de carga	-	-	-	M	C	Suspensão de equipamentos pesados com auxílio manual
Manutenção de correia	-	-	-	B	C	trabalho em altura, má locomoção ao longo da correia
LEGENDA	Intensidade dos riscos		Número de trabalhadores expostos aos riscos			Pedreira Paraense
	B= Baixo risco		Físicos	Ergonômicos		
	M = risco moderado		Químicos	De Acidentes		
	C= risco crítico		Biológicos	Total		

Quadro 3 - Levantamento e classificação dos riscos identificados.

Todos os locais ou atividades listadas no Quadro 3 serviram para criação do mapa de risco em croqui como exemplo é possível visualizar a Figura 8 que apresenta o pátio de britagem e seus riscos devidamente identificados.

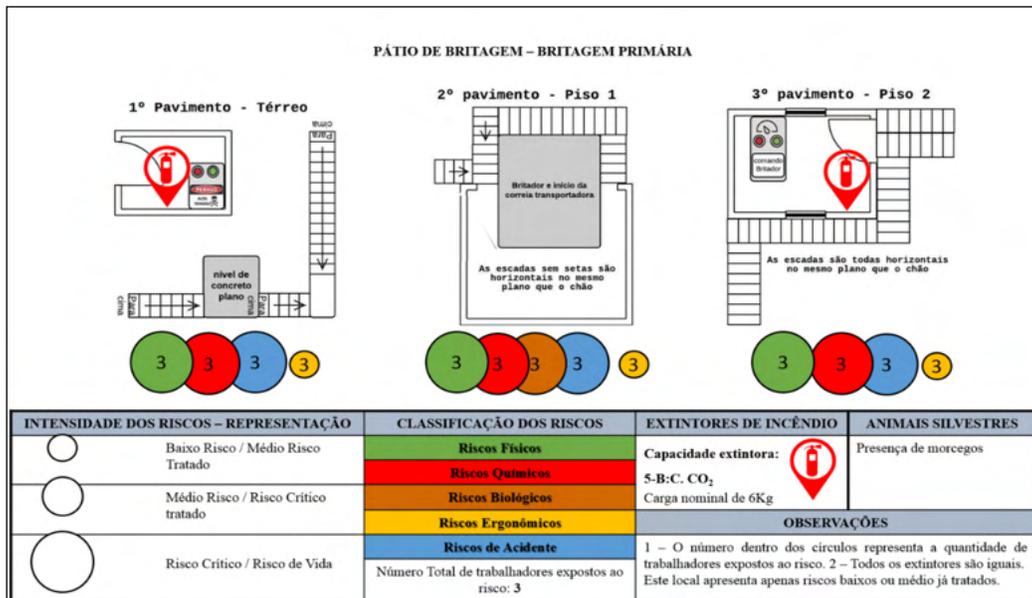


Figura 8 - Exemplo do mapa de risco criado.

O quadro de análise e avaliação de risco WRAC foi criada para as atividades e locais discutidos ao longo do trabalho. É de suma importância compreender que quanto menor o valor da tabela maior o risco e mais prioritariamente se deve tratá-lo. Por exemplo, o evento de ocorrência mais frequente serão aqueles representados pelo A e o risco de maior severidade é identificado como o 1, sendo assim, o risco A1 (valorado como 1) é o maior risco que merece maior atenção, enquanto que o risco 5A (valorado como 25) é o risco quase que negligenciável.

DESMONTE					
	A	B	C	D	E
1	1	2	5	7	11
2	3	5	8	12	16
3	6	9	13	17	20
4	10	14	18	21	23
5	15	19	22	24	25

Quadro 4 - Resultado WRAC para o desmonte da pedra paraense.

Segundo a avaliação realizada na tabela WRAC onde aponta a atividade como a mais alarmante dentre todas na pedreira, decidiu-se realizar também a análise de risco do tipo Bowtie para que possa ser observado também as possíveis causas, barreiras e consequências. O desmonte com explosivos (ANFO) é a atividade de mais alto risco à vida humana na pedreira. Por causa deste fato, trata-se de uma atividade com riscos

intoleráveis, podendo causar até mesmo a morte, por algumas distrações, ainda que o desmonte ocorre em uma média de três em três semanas de frequência.

O serviço mesmo que terceirizado, destaca-se dos demais por causa do elevado risco, é a atividade que deve receber a maior prioridade entre todas por causa do grau determinado pelo método, grau de prioridade um.

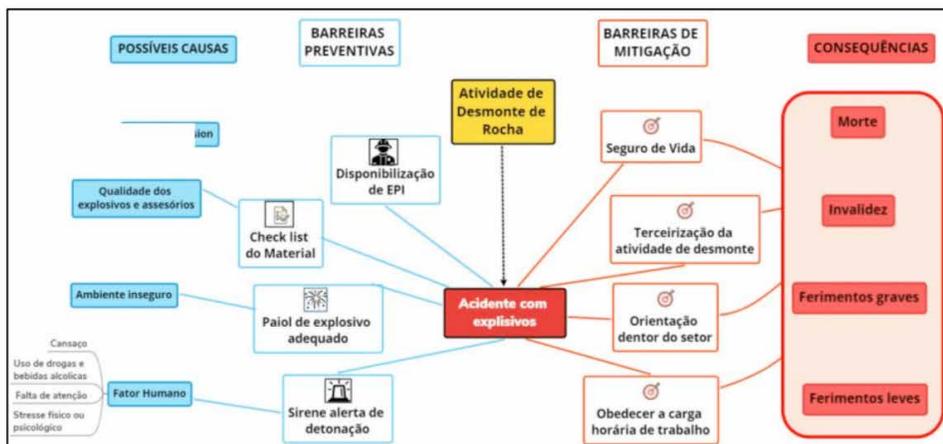


Figura 9 - Relação de cause e efeito pelo método bowtie.

O desmonte consiste na detonação dos explosivos que libera energia e gases de expansão mássica, a explosão que é responsável pela desagregação das rochas altamente competentes. O desmonte ocorre com uma frequência média de uma vez por mês ou ainda de três em três semanas dependendo da demanda. Os riscos químicos presentes na atividade de desmonte são de elevado grau, visto que é nesta etapa ocorre a liberação de gases de expansão e fumos provenientes de explosivos detonados, além de finos do material rochoso, do mesmo modo, os riscos de acidente. Similarmente, os riscos ergonômicos postura posição alocação dos explosivos nos furos da massa rochosa amarração do plano de fogo e sequencia de detonação. Por sua vez, os riscos físicos nesta atividade são de pequeno grau, pois está relacionada somente com a exposição à radiação solar e altas temperaturas o ano inteiro devido ao clima da região. Há inúmeros riscos de acidente relacionados com emulsões encartuchadas que não detonam ou ainda detonam antecipadamente.

No desmonte de rocha com explosivos os riscos de incêndio e acidentes em geral estão ligados à manipulação dos acessórios de detonação químicos e explosivos. Os riscos associados a explosivos vão desde pequenos danos materiais até a morte de trabalhadores como já foi registrada nesta pedreira estudada. Sendo, portanto, uma das atividades de maior risco.

ATIVIDADES	PRIORIDADE
DESMONTE	1
BRITAGEM 1ª, 2ª E PENEIRAMENTO	3
IÇAMENTO DE CARGA	5
PERFURAÇÃO	6
MANUTENÇÃO DE CORREIA	9
CARREGAMENTO	12
OFICINA E DEPÓSITO	12
TRANSPORTE	12
COZINHA	13
REFEITÓRIO	13
GUARITA	14
ESCRITÓRIO	18
LIMPEZA DO ALIMENTADOR DE CORREIA	21
ALOJAMENTO	24

Quadro 5 - prioridade das atividades para o plano estratégico de segurança ocupacional.

É importante frisar que a coloração indicada na prioridade segue a ideia de cores da tabela WRAC apresentada nos tópicos anteriores, onde verde significa risco tolerável, amarelo representa o risco considerável, em laranja o risco moderado e em vermelho o risco intolerável e quanto menor o valor da prioridade mais crítico é a atividade relacionada. Estes resultados demonstra que a britagem e o içamento de carga merecem grande atenção tal como apresentado na Tabela 1 e, por isso, serão discutidas a seguir.

Britagem primária, secundária e peneiramento compõe o ambiente ocupacional do pátio de britagem como um todo, e devido a inúmeras consequências gravíssimas e elevada probabilidade de ocorrência, definiu-se como um ambiente com riscos intoleráveis (Pontuação=3) uma das valorações mais altas do estudo e, portanto, requer prioridade no tratamento de seus riscos. As possíveis consequências são inúmeras no pátio de britagem, trata-se do local mais propício a adquirir a doença ocupacional de silicose, pela aspiração de particulado rochoso muito fina, além de problemas auditivos devido o ruído intenso e contínuo.

A consequência da presença dos morcegos neste ambiente de trabalho pode facilitar a contaminação de doenças que estes mamíferos são capazes de transmitir doenças através do contato com suas excreções ou ainda com mordida (ainda que seja incomum).As principais doenças que os morcegos transmitem são: a raiva, salmonelose e a histoplasmose (infecção pulmonar). Os riscos de acidente podem causar escoriações, até mesmo perda de dedos ou partes do corpo, uma vez que o contato direto com as peças de rolagem expostas exerce grande torque. Outro risco de acidente consiste em não delimitação de onde deve haver fluxo de pessoas e onde deve haver fluxo de maquinário.

Por sua vez, o içamento de carga apresenta consequências extremas, pode causar até mesmo a morte, como por exemplo na situação visualizada na Figura 7, poderia ocorrer o desprendimento de uma carga caso o cabo de aço se rompesse durante o içamento, ocasionando esmagamento do trabalhador, na Figura 7 se observa o colaborador utilizando um boné ao invés do capacete sobre uma carga elevada que faz movimento pendular sobre o mesmo. esta situação é altamente passível de sinistro vistas as condições do cabo de aço utilizado na atividade. O maior risco da atividade de içamento de carga é o esmagamento devido à queda de peças mecânicas extremamente pesadas, uma vez que pelo menos um operador fica abaixo da carga suspensa. As consequências dos riscos de acidente vão desde pequenas escoriações e lesões, até mesmo esmagamento de dedos e membros, sendo passível até mesmo de morte por esmagamento. Os riscos ergonômicos cansaço físico, dores musculares, ou até mesmo, dependendo da frequência de exposição ao risco, problemas irreversíveis na coluna.

No desmonte o fornecimento e aplicação dos explosivos é terceirizado, o *blaster* (operador responsável pela detonação) e o motorista da empresa terceirizada trazem as emulsões explosivas encartuchadas de outro estado da federação. O explosivo atualmente utilizado é o ANFO (*Ammonium Nitrate / Fuel Oil*). Não é aconselhável permanecer próximo aos explosivos quando não for função do trabalho, portanto, as sugestões para melhorar a segurança na atividade do desmonte de rocha são centradas na ideia de manter distância dos explosivos, os trabalhadores que não auxiliam no desmonte de rocha, inclusive o motorista da empresa terceirizada não deve permanecer no local do desmonte, deve-se reduzir o pessoal autorizado a estar na frente de lavra durante a operação e isolar o ambiente desde o início da atividade de alocação dos explosivos.

A sugestão para controlar os riscos de acidente no pátio de britagem consiste na sinalização e separação do trânsito de pessoas e do trânsito de veículos. Não pode ser feita implementação de saúde e segurança neste ambiente de trabalho quanto a produção de particulado que é gerado nas britagens primária, secundária e no peneiramento, portanto, deve-se utilizar além de capacete e óculos de proteção, exigir o uso de máscara de proteção contra partículas sólidas no ar e protetores auriculares, reduzindo os efeitos dos ruídos.

Para controle do risco biológico é indicada a dedetização dos locais que são verdadeiros criadouros de morcegos e limpeza do piso onde estão depositados muitos excrementos do animal. Bem como criar barreiras de proteção quanto às peças rolantes do maquinário de exposição, como telas grades e outras barreiras físicas que evitem o contato direto.

Quanto ao içamento de carga, deve-se providenciar equipamentos adequados para suspensão das peças de grande peso, não necessariamente um caminhão *munck*, mas equipamentos auxiliares como de pontes rolantes suspensa ou apoiada, talhas elétricas de cabo de aço ou corrente, guindastes giratórios e guinchos de alavanca, através destas medidas é possível tanto mitigar os riscos de acidentes quanto os riscos ergonômicos.

51 CONCLUSÃO

Este trabalho é composto pelas etapas de levantamento, análise e avaliação de riscos ocupacionais em uma pedreira localizada no nordeste do estado do Pará. Foram realizados o levantamento de riscos e a elaboração do mapa de riscos na etapa inicial de identificação. A segunda etapa consistiu na execução da análise e da avaliação de riscos por meio do método semiquantitativo WRAC. A partir deste método de controle de riscos no ambiente de trabalho foi criada uma lista de atividades prioritárias, as quais demandam maior atenção no âmbito de saúde e segurança de mina.

A terceira etapa compreendeu uma análise complementar que expõe a relação de cause e efeito dos riscos, utilizando a ferramenta bowtie. Com este estudo fundamentado nos preceitos da segurança ocupacional da pedreira, ainda foi possível fazer sugestões de melhoria, as quais podem ser implementadas como medidas de controle pela empresa, minimizando os riscos de saúde e segurança, em alguns casos até mesmo eliminá-los, além de reduzir custos. É de suma importância eliminar os perigos e minimizar os riscos de saúde, tomando medidas de prevenção e de proteção eficazes.

Este estudo apontou como a atividade de maior fator de risco o desmonte de rochas com explosivos, causas, consequências, barreiras preventivas e mitigadoras desta atividade foram avaliadas. Foi possível citar como medidas de controle, para o desmonte de rocha com explosivos, isolar a área do desmonte e a reduzir a circulação de pessoas autorizadas a estarem na frente de lavra nesta operação desde o momento da alocação dos explosivos nos furos de detonação.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Secretaria de Inspeção do Trabalho. Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho. Manual de auxílio na interpretação e aplicação da norma regulamentadora n.35 - trabalhos em altura: NR-35 comentada. Brasília: SIT/DSST, 2012.

BRASIL. Ministério do trabalho e emprego. Manual de Auditoria em Segurança e Saúde no Setor Mineral. Ano 2011. Disponível em: <<http://www.gerenciamentover de.com.br>>. Acesso em: 26 dez. 2018.

DEPARTMENT OF MINERAL RESOURCES, NSW (AUS). Risk management handbook for the mining industry. Sydney: Mineral Resources, 1997.

GOOGLE MAPS, 2019. Disponível em: <<https://maps.google.com.br/maps>>. Acesso em: 20 dez. 2018.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (BR). Portaria nº 25, de 29 de dezembro de 1994. Regulamenta a classificação dos principais riscos ocupacionais para produção de mapa de risco. Diário Oficial da União de 30/12/94 – Seção 1 – págs. 21.280 a 21.282. Republicada em 15/12/95 – Seção 1 – págs. 1.987 a 1.989.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (BR). Normas Regulamentadoras de Segurança e Medicina do Trabalho. NR 22 Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. 2018.

Disponível <trabalho.gov.br/images/Documentos/SST/NR/NR-22-atualizada-2018.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2018.

Pedro R. Métodos de Avaliação e Identificação de Riscos nos locais de Trabalho. Tecnometal. 2006 disponível em <<http://www.rpso.pt/metodos-avaliacao-riscos-laborais-introducao-generica/>> acessado em 01 dez. 2018.

STANDARDS NEW ZEALAND. Risk management; AS/NZS 4360:1999. Strathfield, NSW. 1999.

POTENCIAL INOVADOR DAS PESQUISAS DE SISMOLOGIA: ESTUDO DA APLICAÇÃO DA INTERFEROMETRIA SÍSMICA PARA IMAGEAMENTO 4D

Data de aceite: 02/08/2021

Julia Alanne Silvino dos Santos

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRN
Natal-RN – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4700151295581789>

Marcelo dos Santos Vieira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRN
Natal-RN – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6922253997196040>

Lenise Souza Cardoso de Andrade

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UFRN
Natal-RN – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0773862790854275>

Heloysa Helena Nunes de Oliveira

Programa de Pós-Graduação em Ciência,
Tecnologia e Inovação - PPgCTI Universidade
Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Natal/RN – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6054531286949453>

Zulmara Virgínia de Carvalho

Programa de Pós-Graduação em Ciência,
Tecnologia e Inovação - PPgCTI Universidade
Federal do Rio Grande do Norte – UFRN
Natal/RN – Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3598201636024281>

RESUMO: O processo de aquisição Sísmica é uma ciência derivada da sismologia e é conceituada para estudos de delimitação de

campos petrolíferos. Os avanços feitos ao longo dos anos, demonstram o interesse e necessidade de estudos nessa área, visto que aumentam a certeza de onde deve-se perfurar os poços de petróleo. Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo abordar a respeito do imageamento sísmico 4D e sua trajetória histórica, além disso fazer uma análise do cenário científico-tecnológico da pesquisa científica da UFRN. Dentro desse propósito, foi realizada pesquisa exploratória acerca da trajetória histórica, análises de prospecção científico-tecnológica sobre o tema, e nível de maturidade tecnológica do projeto acadêmico.

PALAVRAS-CHAVE: Sísmica; prospecção; pesquisa acadêmica.

INNOVATIVE POTENTIAL OF SEISMOLOGY RESEARCH: STUDY OF THE APPLICATION OF SEISMIC INTERFEROMETRY FOR 4D IMAGING

ABSTRACT: The Seismic acquisition process is a science derived from seismology and is conceptualized for oilfield delimitation studies. The advances made over the years demonstrate the interest and need for studies in this area, as they increase the certainty of where to drill oil wells. In this context, the present work aims to address the 4D seismic imaging and its historical trajectory, in addition to analyzing the scientific-technological scenario of scientific research at UFRN. Within this purpose, exploratory research was carried out on the historical trajectory, analyzes of scientific-technological prospecting on the subject, and the level of technological

maturity of the academic project.

KEYWORDS: Seismic; prospection; academic research.

1 | INTRODUÇÃO

A dificuldade em transformar produção acadêmica em ativo econômico constitui uma realidade vigente no país, e essa característica é evidenciada pelas limitações na relação governo - universidade - empresa. Segundo Rapini (2007), até os anos 1970, os programas governamentais voltados à redução da dependência tecnológica externa acabaram por privilegiar a entrada da tecnologia estrangeira e o estabelecimento de multinacionais nos setores mais sofisticados. Aumentando desse modo o consumo de tecnologia exógena, e dificultando a relação universidade - empresa no Brasil.

De acordo com Vedovello (1998), a cooperação entre universidades e empresas é capaz de gerar benefícios tanto para os participantes diretos da interação quanto até mesmo para o país, pois promove melhoria na competitividade de sua indústria. Para Puffa et. Al (2012), a interação universidade- empresa, tem como objetivo a produção de tecnologia endógena com o intuito de maximizar o crescimento econômico do país.

Desse modo, para transformar uma produção acadêmica em ativo econômico a interação universidade - empresa se constitui um instrumento crucial para o desenvolvimento mútuo entre as partes quando incentivadas pelas políticas de inovação do país. Entretanto, a relação Universidade - Empresa no Brasil ainda possui uma série de obstáculos que dificultam essa interação.

Alves (2015) afirma que, grande parte desses desafios a serem superados por Instituições de Ensino Superior (IES) são: a falta de estímulo ao empreendedorismo e ao desenvolvimento de novos produtos, processos e serviços; pouca interação das empresas com o mercado; proposição de soluções como obstáculos encontrados na indústria e em outros setores economicamente ativos e gestão e proteção do conhecimento.

De acordo com Rodrigues (2016), a aquisição sísmica consiste em uma ciência derivada da sismologia e é conceituada para estudos de fenômenos naturais como terremotos. No entanto, ao longo do tempo os sismologistas, descobriram que as ondas sísmicas produzidas por um terremoto continham importantes informações, em larga escala, sobre a estrutura do interior da Terra. Conforme Santos (2013), os Sismologistas e geólogos também descobriram que de uma forma similar, às ondas sísmicas geradas pelo homem poderiam ter uso mais prático: elas poderiam pesquisar a estrutura mais superficial da terra com o objetivo de ajudar a localizar minerais, água e recursos de hidrocarbonetos. A partir de então essa tecnologia começou a ser explorada de forma significativa.

Além disso, Silva Júnior (2017), os sismógrafos são responsáveis pela produção de sismogramas onde se registram os tempos de chegada e as amplitudes dos vários tipos de ondas sísmicas. De acordo com Onip (2003), sua cadeia produtiva composta por

fabricantes e fornecedores de bens – equipamentos, componentes e materiais. Entre outros serviços relacionados como por exemplo: instituições de ensino e pesquisa, geofísicos, ambientalistas, entre outros.

Dessa forma, estudos nessa área são relevantes não só devido seu potencial para melhorar a aquisição de dados, mas também devido sua importância nos campos de petróleo. De acordo com Onip (2003), a partir de 1999, a Agência Nacional do Petróleo – ANP passou a realizar leilões anuais para a concessão de exploração de petróleo em áreas geograficamente definidas do território nacional. Portanto, de acordo com Onip (2003), dentre as informações essenciais para que os interessados pudessem avaliar o potencial de sucesso exploratório de cada área, destacam-se os dados de levantamentos de sísmica e de outras técnicas geofísicas. Nesse sentido, faz-se necessário o avanço contínuo desses estudos com o objetivo de obter inovações tecnológicas consideráveis para esse setor.

É no contexto dessas duas temáticas que o presente trabalho tem por objetivo fazer uma análise científica-tecnológica a respeito do imageamento sísmico, analisando o potencial inovador da pesquisa científica da UFRN que tem por título: **IMAGEAMENTO PASSIVO 4D OFFSHORE UTILIZANDO INTERFEROMETRIA SÍSMICA**.

2 | HISTÓRICO DO IMAGEAMENTO SÍSMICO

O processo de desenvolvimento de métodos para a obtenção de imagens sejam essas 2D,3D ou 4D vem sendo aprimorado ao longo do tempo. De acordo com Aguiar (2019), uma das primeiras formas de expressar uma imagem foi vista na caverna de Lascaux e com o avanço das tecnologias, os métodos utilizados para obtenção de imagens foram aprimorados, sendo transformados em imagens com várias dimensões.

Além disso, essa tecnologia passou a ser usada para as mais diversas finalidades, desde a sua utilização para obter imagens do bebê ainda no útero da mãe, como o ultrassom, até a sua utilização para aquisição da sísmica. Com a obtenção de imagens, o desenvolvimento da sísmica possibilitou avanços significativos na área. Houve avanços nos métodos sísmicos desde o início de sua aplicação à exploração de petróleo nas primeiras décadas do século 20 (SANTOS, 2018).

Os levantamentos sísmicos eram quase que exclusivamente 2D até meados da década de 80, utilizados predominantemente na fase exploratória e secundariamente no suporte a exploração, na interpolação de dados entre poços. Desde então, tornou-se efetiva a utilização das técnicas de aquisição 3D, cujos resultados iniciais revelaram melhores imagens, permitindo maior definição no mapeamento de reservatórios, inclusive aqueles considerados de menor escala como conjuntos de pequenos canais, falhas e fraturas (SANTOS, 2018).

Desse modo, o processo de transformação da ciência do imageamento sísmico 3D em negócios tecnológicos se deu a partir da EXXON Production Research, empresa

multinacional de petróleo e gás , que efetuou as primeiras experiências de sísmica 3D, ainda em 1963. Os resultados obtidos foram divulgados no Congresso Anual da SEG em 1970, assim como na revista Geophysics de junho de 1979 (ONIP, 2003) .

As técnicas 3D são hoje utilizadas em todo o mundo tanto na fase de exploração quanto, e principalmente, nas fases de delimitação e desenvolvimento dos campos. As técnicas 3D, apesar dos seus altos custos tornam-se extremamente atrativas por resultarem em redução do número de poços necessários e em uma locação mais eficaz (ONIP, 2003).

O avanço da técnica para a sísmica 4D, permite uma modelagem nos levantamentos sísmicos dos reservatórios passassem a associar ao modelo 3D a propagação das ondas sísmicas e seus impactos nos reservatórios. Possibilitando que as demais fatores como: mineralogia, propriedades das rochas, dos fluidos e dos fatores ambientais também fizessem parte do modelo (SCHIOZER; RISSO, 2008).

3 | REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Prospecção Tecnológica

Para Mayerhoff (2008), a Prospecção Tecnológica pode ser definida como “um meio sistemático de mapear desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo”.

3.2 Technological Readiness Level

De acordo com a NASA (2012), Technological Readiness Level- TRL (ou Nível de Maturidade Tecnológica) é um tipo de sistema de medição usado para avaliar o nível de maturidade de uma determinada tecnologia. Cada projeto de tecnologia é avaliado em relação aos parâmetros de cada nível de tecnologia e, em seguida, é atribuída uma classificação TRL com base no progresso do projeto. Existem nove níveis de maturidade tecnológica. O TRL 1 é o mais baixo e o TRL 9 é o mais desenvolvido.

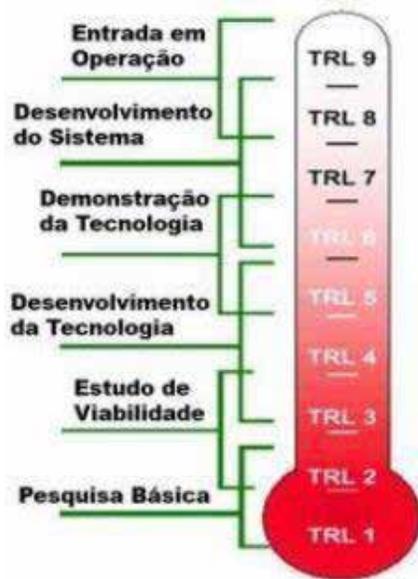


Figura 1: “Technological Readiness Level”- TRL(NASA).

Fonte: NASA (2014).

4 | METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa deu-se a partir de pesquisas exploratórias bibliográficas relacionadas ao tema que deram embasamento para o desenvolvimento do trabalho. A análise dos dados coletados por meio da plataforma de identificação de patentes Espacenet para o estudo prospectivo, na busca de patentes que aplicam a técnica, permitiu constatar a existência de 68 patentes registradas, onde 19 estavam em PCT (*Patent Cooperation Treaty* - tratado internacional de internacionalização de patentes). Também foi realizado um estudo prospectivo no Google Patents, para verificar as patentes depositadas no Brasil (ver resultados na Tabela 1).

No google trends foram pesquisadas as palavras “geociência ” e “sismologia”, objetivando obter resultados acerca das regiões que mais pesquisam a respeito dessas palavras.

Plataforma	Palavras-Chave	Resultados
Espacenet	"nftxt = "SEISMIC" AND nftxt = "INTERFEROMETRY" AND nftxt = "4d"	68
Google Patents	(Interferometria Sísmica 4D) country:BR	3

Tabela 1 – Palavras-Chave e Resultados da Prospecção.

Fonte: Autores (2019).

5 I ESTUDO PROSPECTIVO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO

Os resultados da busca prospectiva apontam o Estados Unidos da América como principal player patentário dessa técnica com 31 patentes registradas. Seguido da Organização Mundial de Propriedade Intelectual com 24 e o Canadá com 10, como é possível observar na Figura 2. Também é possível observar na Figura 3, que o pico de depósitos de patentes ocorreu no intervalo de 2014 a 2018.

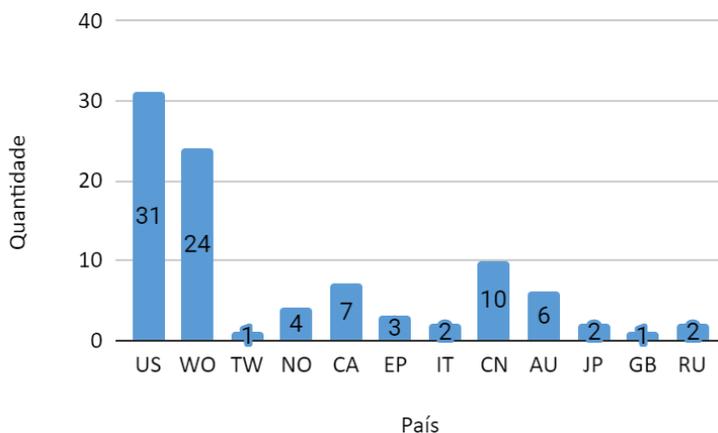


Figura 2 - Distribuição Mundial De Patentes Registradas - Interferometria Sísmica.

Fonte: Adaptado do Espacenet, 2019.

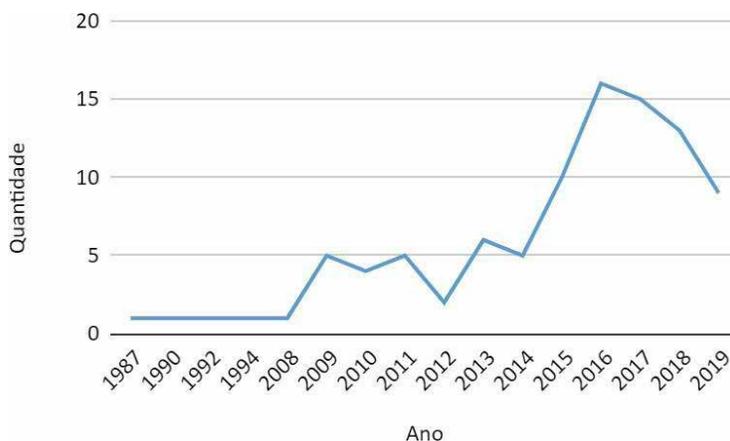


Figura 3 - Distribuição Mundial De Patentes Registradas – Linha do Tempo.

Fonte: Adaptado do Espacenet, 2019.

Na Prospecção Tecnológica realizada no Google Patentes, verificado o escritório brasileiro, foi possível identificar apenas 4 patentes brasileiras que correspondem aos termos de buscas "Interferometria Sísmica 4D". Com destaque ao indicador que no ranking

dos maiores depositantes que em sua totalidade são empresas estrangeiras, ver Figura 4.



Figura 4 - Ranking Depositantes de Patentes: Interferometria Sísmica 4D.

Fonte: Google Patentes (2019).

6 | ESTUDO DE CASO DA PESQUISA: O IMAGEAMENTO PASSIVO 4D OFFSHORE UTILIZANDO INTERFEROMETRIA SÍSMICA

A pesquisa científica da UFRN, que é objeto de estudo do trabalho, tem o título “IMAGEAMENTO PASSIVO 4D OFFSHORE UTILIZANDO INTERFEROMETRIA SÍSMICA” e é executada no departamento de geofísica da instituição. Esta tem como grande área de pesquisa: Ciências Exatas e da Terra; área: geociência; subárea: geofísica e especialidade em sismologia.

Para o desenvolvimento da pesquisa, registros contínuos com amostragem de 2 ms em 702 sensores OBC 4C (geofones 3C + hidrofones 1C) foram coletados num campo offshore abrangendo uma área de aquisição de aproximadamente 3 km². Desse modo, no projeto são testadas as técnicas de interferometria sísmica para o processo de imageamento da subsuperfície deste campo e monitoramento das mudanças de velocidade induzidas pela produção neste campo.

De acordo com a descrição do projeto de pesquisa da UFRN, seu objetivo é avaliar o uso de técnicas de Interferometria Sísmica de ruído ambiente para a detecção de mudanças de parâmetros cinéticos (velocidade de propagação de onda) em subsuperfície em um reservatório offshore em produção.

O imageamento e monitoramento da produção em campos de petróleo é geralmente feito através de levantamentos de sísmica 3D e 4D ativas. Estes tipos de aquisições tem vantagens (razoáveis) controle das posições das fontes sísmicas e também um tempo de execução relativamente curto.

Entretanto, os custos envolvidos num levantamento 3D e/ou 4D, além de limitações técnicas e ambientais são algumas das desvantagens destes tipos de levantamento. Dessa forma, a Interferometria Sísmica prescinde de fontes artificiais utilizados em levantamentos 3D e 4D, portanto, as questões de licenciamento ambiental inerentes a estes levantamentos, por exemplo, são menos críticas com relação ao levantamentos de sísmica 3D e 4D ativas.

O projeto de pesquisa da UFRN tem como financiador a empresa PETROBRAS, que possui interesse nessa área de pesquisa, tendo em vista a relevância da pesquisa para o imageamento e monitoramento da produção em campos de petróleo.

De acordo com a figura 1, representada pela definição da NASA a respeito do “Technological Readiness Level- TRL” (ou nível de maturidade tecnológica), o nível de maturidade tecnológica da pesquisa da UFRN se encontra em sua fase intermediária, ou seja com TRL5. Devido a produção acadêmica está em fase de demonstração da tecnologia, por meio de testes.

7 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

É evidente a dificuldade enfrentada por parte das universidades para transformar a produção acadêmica em ativo econômico ainda é uma realidade vigente no país, sendo essa característica constituída com base na falta de interação entre as universidades, as empresas e o governo. Desse modo, essa interação formada pela tríplice hélice possibilita não só o desenvolvimento dessas instituições, mas também o introduz a essas entidades um diferencial inovativo.

Nesse contexto, vê-se nas tecnologias de imageamento sísmico um potencial inovador e de grande importância para o mercado que está inserido. Os métodos de aquisição de imagens (2D, 3D e 4D) vêm sendo utilizados e aprimorados ao longo do tempo, com uso comumente na ultrassom e exploração de campos petrolíferos.

O marco histórico do uso do imageamento 3D transformando-o em negócio tecnológico se deu em 1963 pela empresa EXXON Production Research, que apresentou os resultados da experiência 3D em um evento em 1970. Essa tecnologia de imageamento é utilizada até hoje principalmente na delimitação de campos petrolíferos, onde apesar do alto custo operacional, se torna imprescindível pela maior certeza de onde perfurar.

Além disso, hoje já existe o avanço da técnica para a sísmica 4D, permitindo uma modelagem nos levantamentos sísmicos dos reservatórios passassem a associar ao modelo 3D a propagação das ondas sísmicas e seus impactos nos reservatórios.

O estudo prospectivo científico-tecnológico pela plataforma Espacenet mostra que os 3 maiores depositantes patentários mundiais na área sísmica e de interferometria são Estados Unidos, Austrália e Canadá. Quando trazemos a discussão para o cenário brasileiro e buscando na plataforma do Google Patents, vemos que há poucos depósitos e esses feitos por empresas estrangeiras.

O estudo de caso deste presente artigo, mostra um potencial inovativo que além que abordar a sísmica 4D, possui diferencial do uso da interferometria sísmica que o licenciamento ambiental atrelado a esse tipo de tecnologia é mais simples, pela sua fonte ser menos agressiva.

É notório que apresenta interesse de mercado visto que há um financiamento privado da principal empresa exploradora de campos petrolíferos do Brasil, na temática da delimitação dos campos e acompanhamento da produção.

Atualmente, a pesquisa acadêmica encontra-se no nível 5, em que a tecnologia está sendo desenvolvida para ser testada posteriormente. Isso mostra que já passou do estágio de viabilização, tornando-a um projeto acadêmico com potencial inovador.

É notório que as pesquisas na área de sismologia no Brasil ainda são mínimas perto do que ainda pode-se desenvolver. Projetos como o demonstrados no estudo de caso demonstram o diferencial inovador que as universidades possuem em desenvolvimento nessa área, e precisam ser mais exploradas.

REFERÊNCIAS

ALVES, V.C. et al.. **Reflexões sobre as competências dos núcleos de inovação tecnológica.** Cadernos de Prospecção, v. 8, n. 4, p. 603-611, 2015.

BORDALO, Filipe Di Luccio; BRANQUINHO, Priscila das Dores. **O mercado de apoio offshore—panorama e perspectivas.** 2015

MAYERHOFF, Zea Duque Vieira Luna. **Uma análise sobre os estudos de prospecção tecnológica.** Cadernos de prospecção, v. 1, n. 1, p. 7-9, 2008.

NO BRASIL, Sísmica Terrestre. **Projeto ONIPGEO.** Ctpetro, Rio de Janeiro , 2003.

PUFFAL, Daniel Pedro; RUFFONI, Janaína; SCHAEFFER, Paola Rücker. **Características da interação universidade-empresa no Brasil: motivações e resultados sob a ótica dos envolvidos** 1. Gestão Contemporânea, n. 1, 2012.

RAPINI, Márcia Siqueira. **Interação universidade-empresa no Brasil: evidências do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq.** Estudos Econômicos. vol.37. São Paulo, 2007.

RISSO, Valmir Francisco; SCHIOZER, Denis José. **Utilização de sísmica 4D e de mapas de saturação no ajuste de histórico de reservatórios petrolíferos.** Revista Brasileira de Geociências, v. 38, n. 1 suppl, p. 172-187, 2008.

ROCHA, Daiane; LOURENÇO, Francisco Cristovão de Melo; RIBEIRO, Joana. **Uma adaptação da metodologia TRL.** Revista Gestão em Engenharia. São José dos Campos, 2017.

RODRIGUES, Matheus Câmara. **Processamento De Dados Sísmicos Adquiridos Com Fonte Percussiva Na Chapada Diamantina.** 2016. 50f. Trabalho De Graduação. Universidade Federal Da Bahia, Salvador, 2016.

SANTOS, ATAHEBSON BEZERRA. **Otimização de desenho de aquisição sísmica 3D terrestre utilizando algoritmo de base mista para inversão e iluminação orientada ao alvo.** Bahia , 2018.

SANTOS, Rogério. **Aquisição Sísmica e Microssísmica (ou Microssísmica).** 2013. Disponível em: <http://www.sismica.uff.br/index.php/aquisicao-sismica>. Acesso em: 05 de novembro de 2019.

SILVA JÚNIOR, Heleno José da. **Avaliação da estabilidade global de edifícios altos no município de Caruaru com consideração da ação do vento e de sismo.** 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DO FOSFATO DE CÁLCIO MONETITA PELA ROTA ÚMIDA DE NEUTRALIZAÇÃO RATHJE – HAYEK E NEWSELY

Data de aceite: 02/08/2021

Nataly Cristiane de Campos Amador Garcias

Laboratório de Materiais Cerâmicos – LACER,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Minas, Metalúrgica e de Materiais -
PPGE3M, Universidade Federal do Rio Grande
do Sul - UFRGS
Porto Alegre, RS
ORCID 0000-0002-1131-8669

Carlos Pérez Bergmann

Laboratório de Materiais Cerâmicos – LACER,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
de Minas, Metalúrgica e de Materiais -
PPGE3M, Universidade Federal do Rio Grande
do Sul - UFRGS
Porto Alegre, RS

RESUMO: A monetita (CaHPO_4) é um ortofosfato de cálcio com razão $\text{Ca/P} = 1,0$ e possui aplicações biomédicas. Nesse trabalho, foi analisada a técnica de síntese. O método de síntese utilizado foi a rota úmida de neutralização Rathje adaptando de Hayek e Newsely, em uma temperatura de $80\text{ }^\circ\text{C}$, que é baixa em comparação com as outras técnicas, tendo a casca de ovo de galinha como fonte alternativa de cálcio, e o ácido fosfórico como fonte de fósforo. O produto obtido foi filtrado, lavado e seco em estufa a $100\text{ }^\circ\text{C}$ durante 12 h, e após analisado por difração de raios-X, qualitativamente e quantitativamente através do refinamento de Rietveld, espectroscopia Raman, e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados das análises indicam a formação da monetita com

tamanho de cristalito de 148 nm.

PALAVRAS-CHAVE: Síntese; biomaterial; monetita; rota úmida; casca de ovos de galinha.

ABSTRACT: Monetite (CaHPO_4) is a calcium orthophosphate with Ca/P ratio = 1.0 and has biomedical applications. In this work, the synthesis technique was analyzed. The synthesis method used was the wet Rathje neutralization route adapting from Hayek and Newsely, at a temperature of $80\text{ }^\circ\text{C}$, which is low compared to the other techniques, with chicken egg shell as an alternative source of calcium, and the phosphoric acid as a source of phosphorus. The product obtained was filtered, washed and dried in an oven at $100\text{ }^\circ\text{C}$ for 12 h, and after analyzed by X-ray diffraction, qualitatively and quantitatively through Rietveld refinement, Raman spectroscopy, and scanning electron microscopy. The results of the analyzes indicate the formation of the monetite with a crystallite size of 148 nm.

KEYWORDS: Synthesis; biomaterial; monetite; wet route; chicken egg shell.

1 | INTRODUÇÃO

Os fosfatos de cálcio são amplamente investigados pelas suas propriedades como biomateriais. [1] Normalmente, classificados em função da razão Ca/P , os ortofosfatos de cálcio compreendem uma série de compostos entre $0,5 \geq \text{Ca/P} \leq 2,0$ [2–4]. Todos os fosfatos de cálcio são sais formados obrigatoriamente pelos íons fósforo e cálcio. [5] Ao longo dos últimos anos foi constatado que mais de 250.000 toneladas/

ano de ovos de galinhas são produzidas ao redor do mundo, fazendo com que ela deva ser preferida como fonte de cálcio em função do seu potencial renovável [6].

Os fosfatos de cálcio mais procurados são as hidroxiapatitas, cuja razão é de 1,67. A monetita, que é o fosfato dicálcico anidro (CaHPO_4), DPCA, cujo o nome pela IUPAC é hidrogenofosfato de cálcio e possui razão $\text{Ca/P} = 1,0$ [5,7], tem aplicações como suprimento nutricional, cereais matinais, farinhas enriquecidas; auxiliar na formação de comprimidos; pasta de dente [5,7]; descontaminação de água [8]; e como biomaterial em cimento ósseo [9]; remineralização dental [10]; revestimento [11] e preenchimento ósseo [12] por causa da sua alta solubilidade, facilitando a remodelagem e regeneração óssea [1,9]. Pode ser encontrada em tecidos cicatrizantes e inflamatórios ($\text{pH} < 7,4$), mas é reabsorvido ou transformado em hidroxiapatita nas condições fisiológicas ($\text{pH} = 7,4$), e é encontrada em calo de fratura óssea [13].

A monetita cristaliza no sistema triclinico, pertencendo ao grupo espacial $P1$ [14,15], tendo como parâmetros de rede $a = 6,910 \text{ \AA}$, $b = 6,627 \text{ \AA}$, $c = 6,998 \text{ \AA}$ e $\alpha = 96,340^\circ$, $\beta = 103,820^\circ$, $\gamma = 88,330^\circ$ [15]. Cada célula unitária contém 4 moléculas, sendo que dois pares distintos de PO_4 são encontrados em cada célula primitiva [16]. As cadeias duplas de CaPO_4 , CaPO_4 , CaPO_4 , CaPO_4 se estendem ao longo do eixo a se mantendo juntas na mesma direção do eixo b através da ligação Ca-O , formando camadas distorcidas de átomos próximos ao plano (001) [17]. Cada membro de um par está relacionado ao outro membro pelo centro de simetria [16]; ao passo que o centro de simetria produz outra camada abaixo dessa na direção do eixo c , gerando então uma rede tridimensional de tetraedros de fosfatos mantidos unidos através dos íons de cálcio nos interstícios, conforme Fig. 1 [17,18].

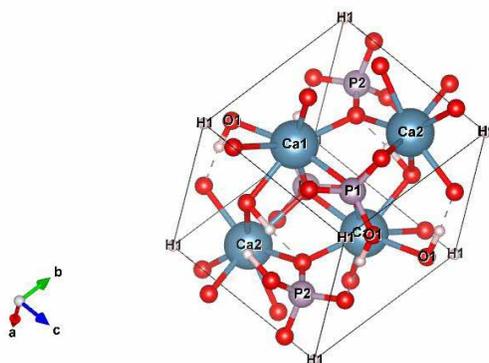
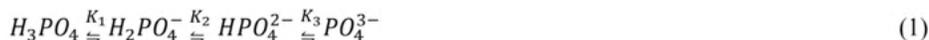


Fig. 1 Estrutura cristalina, da ficha ICSD 917 gerada pelo programa VESTA [19].

A solubilidade dos ortofosfatos de cálcio está intrinsecamente ligada ao pH durante a sua síntese, isto porque o ácido ortofosfórico (H_3PO_4) é um triácido ou ácido triprótico apresentando quatro polimorfos que possuem suas concentrações alteradas de acordo

com o pH do meio [5,7]. Os íons fosfatos existem em equilíbrio como descrito na equação (1), indicando que à medida que o pH aumenta uma forma mais ionizada predomina e a solubilidade reduz [20].

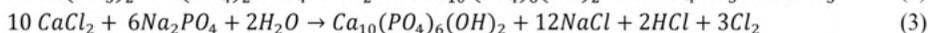


Os fosfatos de cálcio podem ser sintetizados basicamente através de dois tipos de rotas uma úmida e a outra seca, e em alta ou baixa temperatura [1]. Além disso existem os tratamentos térmicos pós síntese que também são fortes influenciadores das fases, suas quantidades e microestruturas obtidas. Assim, além dessa compreensão de como o tipo de rota de processamento atua na microestrutura das hidroxiapatitas [3], os parâmetros: temperatura de síntese e de envelhecimento; pH de síntese e de envelhecimento; tempo de síntese e de envelhecimento; e a pureza dos reagentes também são fatores preponderantes na obtenção de quanto e qual tipo de fosfato de cálcio, cristalinidade, morfologia e os seus outros aspectos microestruturais [4].

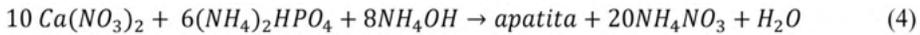
As sínteses em altas temperaturas [3,21] que normalmente ocorrem no estado sólido [4], geralmente promovem uma boa [3] e alta cristalinidade [4,21], com cristais grandes [3,21], alta pureza e áreas específicas pequenas [4]. Enquanto que o inverso tende a ser verdadeiro, sínteses em baixas temperaturas como, precipitação, co-precipitação, solução aquosa, hidrólise e envelhecimento de precursores [3,4] produzem cristais pequenos [3,21], “nanosizados” (e hidratados) [5] e de baixa cristalinidade [3,21], entretanto a desvantagem pode ser o surgimento das fases transitórias e metaestáveis [5].

As rotas úmidas consistem de sínteses nas quais ocorrem reações de neutralização entre elementos com caráter ácido e básico, no caso contendo fosfato e cálcio. Os métodos mais usados são: precipitação, hidrólise, sol-gel e hidrotermal [1]. A rota de neutralização/precipitação apresenta variantes:

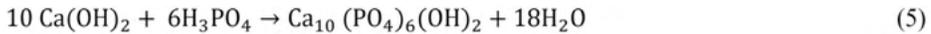
A reação conhecida como “precipitação” [22] é a reação entre sais de fosfato e de cálcio [23], proporciona partículas pequenas, mas no caso menores do que 10 µm, embora a cristalinidade continue equivalente ao tecido natural. A Equação (2) [22,23] que ocorre com o pH entre 8 e 12 [22], e a Equação (3) são exemplos dessa reação para obtendo-se hidroxiapatita, entretanto os subprodutos poderão ou não serem os pretendidos [23].



Hayek e Newsely propuseram uma alteração para a reação entre sais Equação (2) [22,23]. Nessa metodologia além do nitrato de cálcio ($Ca(NO_3)_2$) e do fosfato de amônio ($(NH_4)_2HPO_4$), é usado hidróxido de amônio (NH_4OH). A reação ocorre sob agitação, e obedece a Equação (4) [24]. Nesta equação o produto é descrito apenas como apatita significando que normalmente ele não é puro, e indicando que a metodologia requer um rigoroso controle dos reagentes e do pH [24,25].



A reação ácido-base [23], ou de neutralização [22], tende a proporcionar partículas menores do que 1 µm e baixa cristalinidade, sendo esta similar ao tecido ósseo. Requer ajuste rigoroso da quantidade disponível de Ca^{2+} e PO_4^{3-} para que a razão Ca/P requerida seja obtida [23]. O pH tende ser próximo a 8 [22]. A Equação (5) apresenta a reação na qual se obtém água como subproduto [23].



Essa rota de síntese de neutralização apresenta uma metodologia chamada de método de Rathje. Na Equação (5), a execução ocorre da seguinte maneira: o ácido fósfórico (H_3PO_4) é adicionado lentamente sobre a suspensão do hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), mantidos em agitação. [24,25].

Tanto a neutralização como a precipitação podem ser a temperatura ambiente ou próxima a ebulição [25]. Além disto o controle das concentrações dos reagentes e do pH de síntese são importantes para que durante o processo de tratamento térmico não haja transformações de fases [24].

Nesse trabalho foi utilizada a rota úmida com controle de pH, utilizando método metodologia de neutralização de Rathje com a adaptação de Hayek e Newsely para sintetizar o fosfato de cálcio.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Para a síntese de fosfato de cálcio são necessárias as fontes de cálcio e fósforo. Existem propostas de uso de recursos naturais, por exemplo, com corais, cascas de ovos de avestruz, ossos de choco (molusco com 10 tentáculos), cinza de ossos bovinos. [26] Nesse trabalho, foram utilizadas as cascas dos ovos das galinhas *Gallus gallus* como precursor de cálcio. As cascas dos ovos apresentam como principal elemento constituinte inorgânico o CaCO_3 , também podem haver alguns elementos traços, mas isto varia de acordo com a alimentação dos galináceos.

Já o precursor de cálcio foram as cascas dos ovos. Elas foram lavadas com água corrente e detergente para remoção de resíduos externos da casca, secas, fragmentadas e queimadas no forno, com taxa de aquecimento de 10 °C/min, temperatura de patamar de aproximadamente 1000 °C durante 2 h. O processo de calcinação obedece a Equação (6). Após a queima, as cascas foram cominuídas manualmente com pestilo e gral e caracterizados por DRX no difratometro Phillips, modelo X'Pert MDP (tubo de raios X com radiação Cu Ka), e analisado qualitativamente e quantitativamente com o programa Profex 4.0. [27] De acordo com a Fig. 2, pode ser observado que o óxido de cálcio obtido, corresponde a ficha PDF 04-007-9734, e é altamente cristalino.



Os insumos industrializados foram o hidróxido de amônio (NH_4OH) fabricado pela Vetec, como fonte de hidroxilas, e o ácido ortofosfórico (H_3PO_4) fabricado pela Merck como precursor de fósforo.

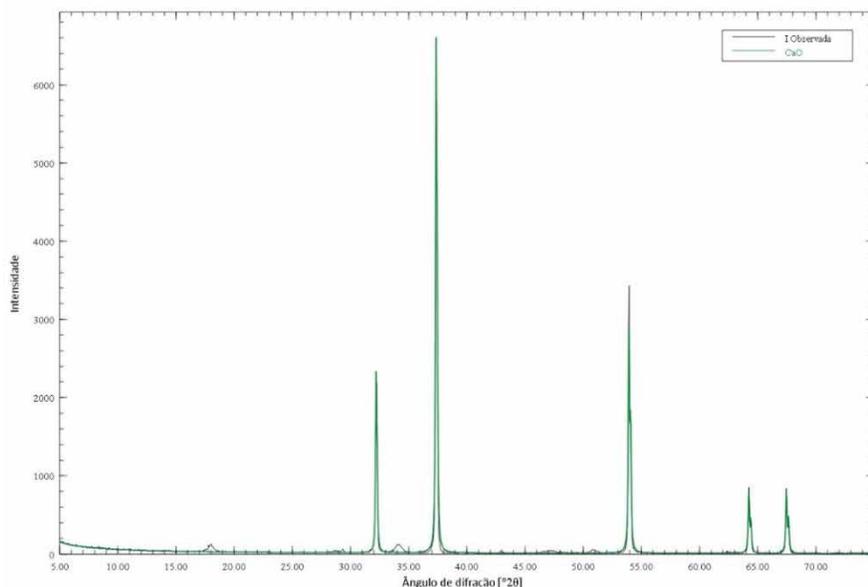


Fig. 2 Difratograma da casca do ovo, de acordo com a ficha PDF 04-007-9734.

2.2 Preparação da Amostra

Através da metodologia de Rathje e adaptando de Hayek e Newsely, a reação foi em rota úmida, de neutralização sob agitação constante do óxido de cálcio em água ultrapura, com a adição progressiva do ácido ortofosfórico e ajuste para controle rigoroso do pH com a adição do hidróxido de amônio. Os reagentes foram ajustados para uma razão Ca/P = 1.67, a reação fora feita sob a temperatura de 80 °C, com pH entre 4,5 e 6,0. Houve envelhecimento da amostra por 1 hora. A filtragem ocorreu em papel filtro e na lavagem da amostra foi utilizando água ultrapura, a amostra fora posteriormente seca em forno estufa à 100 °C por 12 h para remover o excesso de água. A cominuição ocorreu manualmente com o pistilo e gral. Não houve tratamento térmico posterior.

2.3 Caracterização

O pó obtido foi caracterizado através de difração de raios-x (DRX) utilizando um difratometro Panalytical Empyrean, com tubo de Cobre, com tensão de 45 kV e corrente 40 mA, porta amostra do tipo spinning com tempo de rotação de 1.0 s, com varredura 2θ dos ângulos entre 15 e 100,0055°. O passo foi de 0.0001°. Para executar os cálculos do

refinamento de Rietveld para quantificar as fases, foi usado o software Profex [27] versão 4.3. O tamanho do cristalito foi obtido através da equação de Debye-Scherrer [28]:

$$L = \frac{K \times \lambda}{\beta \times \cos \theta} \quad (1)$$

onde L é o tamanho do cristalito, λ é o comprimento de onda da radiação do Cu ($\lambda = 0,154060$ nm), θ é ângulo de difração de Bragg, e β é a largura a meia altura do plano de difração (1 2 0) no qual $2\theta = 30,1563$ é onde há intensidade relativa de 100% e é corrigida como [29]:

$$\beta = \sqrt{\beta_{exp}^2 - \beta_{padrão}^2} \quad (2)$$

onde β_{exp} é a largura medida e $\beta_{padrão}$ é a largura da amostra padrão, isto é, a largura instrumental.

A espectroscopia raman foi utilizada para confirmar a fase obtida. Foi realizada com um espectrômetro Renishaw Invia Raman Spectrometer System. Foi utilizado laser com comprimento de onda de 532 nm. A caracterização por microscópica eletrônica de varredura – MEV utilizando o Equipamento: EVO MA10 – Carl Zeiss, operado a 10kV.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A rota escolhida proporcionou monetitas nanométricas, com morfologia agulhada. O pH reacional ácido é o responsável pela protonação do ácido fosfórico e estabilização do íon HPO_4^{2-} , gerando assim a monetita. Assim como ocorreu na técnica hidrotermal [30] cujo pH entorno de 5 foi responsável pelo surgimento da monetita. A amostra fora caracterizada por DRX (*Fig. 3*) com ajuste perfeito de refino com a ficha ICSD 917 [15], demonstrando que todos picos observados podem ser atribuídos a fase monetita triclinica no grupo espacial $P1$, de modo a imputar que uma monetita pura fora formada. Na Tabela 31, está o refinamento estrutural da monetita obtida e na Tabela 32 está o comparativo dos parametros de rede entre a fase obtida e a ficha ICSD 917 através da qual é possível observar quão próximos são os fosfatos. O tamanho médio do cristalito calculado foi de 148 nm.

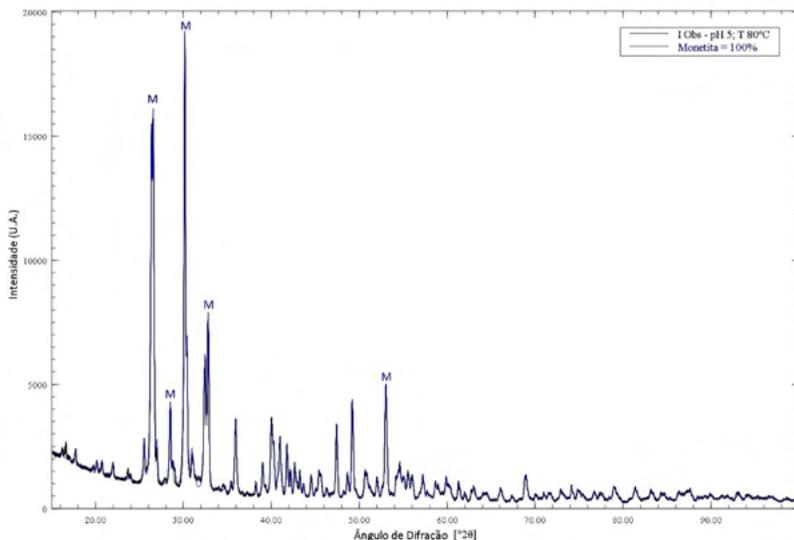


Fig. 3-1 Difratoograma do pó obtido.

	x	y	z
Ca ₁	0,29470	0,43530	0,27190
Ca ₂	0,17540	0,83730	0,66640
P ₁	0,20770	0,37900	0,72070
P ₂	0,29620	0,94360	0,20820
O ₁	0,32340	0,33220	0,93730
O ₂	0,35140	0,49190	0,63240
O ₃	0,13900	0,18060	0,59640
H ₁	0,00000	0,00000	0,00000
H ₂	0,46050	0,25880	0,95060

Tabela 3-1 Resultados do refinamento estrutural da monetita.

Parâmetros de rede	a	b	c	α	β	γ	Vol. da célula unitária (Å ³)
ICSD 917	6,91000	6,62700	6,99800	96,3400	103,8200	88,3300	309,275084
Obtida	6,90772	6,63778	6,99553	96,2882	103,8974	88,4433	309,495634

Tabela 3-2 Comparativos dos parâmetros de rede da ficha ICSD 917 com a monetita obtida.

Os resultados da espectroscopia Raman, Fig. 4, para esta amostra confirma que a fase obtida fora de fato monetita [16,31]. Estes picos estão de acordo com os picos identificados por Frost (2011) [32].

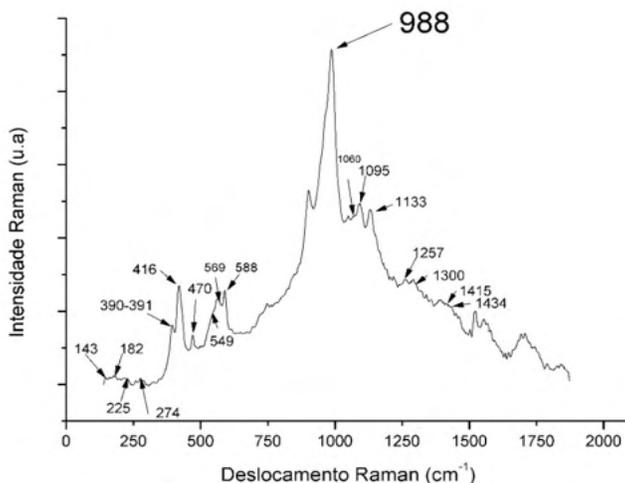


Fig. 4 Espectroscopia Raman – Monetita a 80 °C.

Nos espectros vibracionais Raman de fosfatos de cálcio normalmente ocorre a predominância do tetraedro PO_4^{3-} que dá origem a quatro frequências diferentes: pico mais intenso, modo (ν_1) oriundo do alongamento simétrico das ligações P – O do tetraedro, o modo triplamente degenerado (ν_3) oriundo do alongamento assimétrico P – O, e os modos ν_2 duplamente degenerado e ν_4 triplamente degenerado correspondendo às deformações de flexão O – P – O do tetraedro [16,33]. Os modos internos do tetraedro PO_4^{3-} são recorrentemente citadas, e estão na faixa espectral entre 400 e 1200 cm^{-1} , as bandas menos intensas estão entre 150 e 300 cm^{-1} devido aos modos de rede externa. Os As posições e atribuições das bandas foram coletadas na Tabela 3-3

Atribuições das Bandas	Raman (cm^{-1})	Obtido
	1447	1434
Combinado com POH	1434	1415
	1415	1300
	1300	1257
Vibração do alongamento antissimétrico ν_3	1133	1133
	1095	1095
Bandas ν_3 e ν_3'	1060	1060
Vibração do alongamento simétrico ν_1	988	988
Monetita sintética – flexão ν_4	588	588
	569	569
	549	549
Banda larga adicional para análogo de monetita	470	470
Banda para monetita sintética	416 391	416 391

Bandas para o modo v2	390	390
Bandas de modo de rede – análogo de monetita	225	225
	274	274
Bandas de vibração da rede	182	182
	143	143

Tabela 3-3 Frequências fundamentais para Raman de monetita.

(Fonte: Casciani, 2019; Frost, 2013) [16,31] – *Adaptado*.

A Figura 5 apresenta imagem por microscopia eletrônica de varredura do produto da reação de neutralização pela qual é possível se identificar uma morfologia similar a flocos/folhas com orientação preferencial. Essa morfologia foi anteriormente reportada por Sadat-Shojai [34] para fosfatos de cálcio.

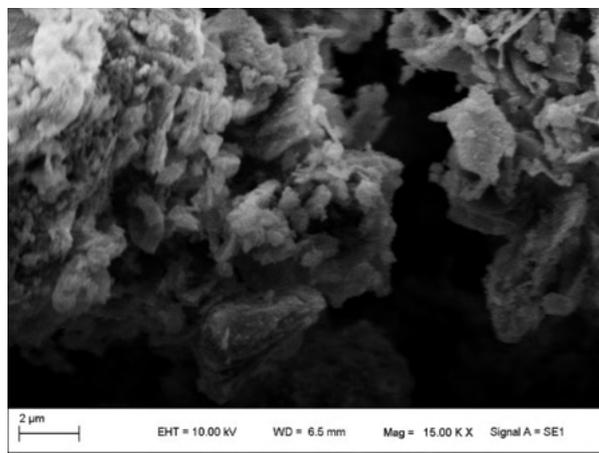


Fig. 5 Micrografia obtida por MEV com ampliação de 15.000 x.

4 | CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que a utilização das cascas dos ovos de galinhas, além de ecologicamente mais sustentável, é altamente viável como substituo do óxido de cálcio comercial. O método de neutralização, proposto por Rathje adaptando de Hayek e Newsely, é altamente eficiente para obter-se o fosfato dicálcico anidro, DPCA. Foi obtida monetita de alta pureza, com elevada cristalinidade, com tamanho de cristalito de 148 nm, morfologia em formas de flocos/folhas com orientação preferencial, sintetizada a uma significativamente menor temperatura em comparação com as demais técnicas. Essa metodologia também se mostrou apta a reproduzir uma monetita com células unitárias com parâmetros de rede extremamente próximos a monetita utilizada na ficha ICSD 917.

REFERÊNCIAS

- [1] K. Suchanek, A. Bartkowiak, M. Perzanowski, M. Marszałek, From monetite plate to hydroxyapatite nanofibers by monoethanolamine assisted hydrothermal approach, *Scientific Reports*. 8 (2018) 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33936-4>.
- [2] S. V Oliveira, K.M. Medeiros, E.P. Araújo, C.R.C. Braga, E.M. Araújo, Caracterização química e morfológica do pirofosfato de cálcio obtido por via úmida, *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*. 3 (2009) 11–20.
- [3] a C.F.M. Costa, M.G. Lima, L.H.M. a Lima, V. V Cordeiro, K.M.S. Viana, Hidroxiapatita: Obtenção , caracterização e aplicações, *Revista eletrônica de Materiais e Processos*. 3 (2009) 29–38.
- [4] J. Boiko, Influência da secagem e do tempo de envelhecimento na obtenção de compósitos de hidroxiapatita - colágeno bovino, Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2009.
- [5] R. Antoniac, Iulian Vasile (University Politehnica of Bucharest, Bucharest, F. Daculsi, Guy (Nantes University, Nantes, Handbook of Bioceramics and Biocomposites, Springer Internation Publishing Switzerland, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12460-5_2.
- [6] H. Faridi, A. Arabhosseini, Application of eggshell wastes as valuable and utilizable products: A review, *Research in Agricultural Engineering*. 64 (2018) 104–114. <https://doi.org/10.17221/6/2017-RAE>.
- [7] S. V Dorozhkin, Calcium Orthophosphate-Based Bioceramics and Biocomposites, 2016. <https://doi.org/10.1002/9783527699315>.
- [8] A.F. Tag El-Din, E.A. Elshehy, M.O. Abd El-Magied, A.A. Atia, M.E. El-Khouly, Decontamination of radioactive cesium ions using ordered mesoporous monetite, *RSC Advances*. 8 (2018) 19041–19050. <https://doi.org/10.1039/c8ra02707b>.
- [9] A. Motameni, A.Z. Alshemary, Z. Evis, A review of synthesis methods, properties and use of monetite cements as filler for bone defects, *Ceramics International*. (2021). <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.01.240>.
- [10] L. Medvecky, R. Stulajterova, M. Giretova, J. Mincik, M. Vojtko, J. Balko, E. Petrovova, Enamel Remineralization Potential of Novel Dentifrice with Tetracalcium Phosphate/Monetite Powder Component, *Powder Metallurgy Progress*. 18 (2018) 58–69. <https://doi.org/10.1515/pmp-2018-0007>.
- [11] M.H. Prado Da Silva, J.H.C. Lima, G.A. Soares, C.N. Elias, M.C. De Andrade, S.M. Best, I.R. Gibson, Transformation of monetite to hydroxyapatite in bioactive coatings on titanium, *Surface and Coatings Technology*. 137 (2001) 270–276. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(00\)01125-7](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(00)01125-7).
- [12] L.G. Galea, M. Bohner, J. Lemaître, T. Kohler, R. Müller, Bone substitute: Transforming β -tricalcium phosphate porous scaffolds into monetite, *Biomaterials*. 29 (2008) 3400–3407. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.04.041>.
- [13] F. Tamimi, J. Torres, C. Kathan, R. Baca, C. Clemente, L. Blanco, E.L. Cabarcos, Bone regeneration in rabbit calvaria with novel monetite granules, *Journal of Biomedical Materials Research - Part A*. 87 (2008) 980–985. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.31842>.

- [14] I. Boanini, E (Department of Chemistry “G. Ciamician”, University of Bologna, 40126 Bologna, I. Bigi, A. (Department of Chemistry “G. Ciamician”, University of Bologna, 40126 Bologna, I. Gazzano, M. (b ISOF-CNR, c/o Department of Chemistry “G. Ci, Review - Ionic substitutions in calcium phosphates synthesized at low temperature, *Acta Biomaterialia*. 6 (2010) 1882–1894.
- [15] M. Catti, G. Ferraris, A. Filhol, Hydrogen bonding in the crystalline state. CaHPO₄ (monetite), P1 or P1? A novel neutron diffraction study, *Acta Crystallographica Section B Structural Crystallography and Crystal Chemistry*. 33 (1977) 1223–1229. <https://doi.org/10.1107/S0567740877005706>.
- [16] F. Casciani, R.A. Condrate, The Raman spectrum of monetite, CaHPO₄, *Journal of Solid State Chemistry*. 34 (1980) 385–388. [https://doi.org/10.1016/0022-4596\(80\)90439-9](https://doi.org/10.1016/0022-4596(80)90439-9).
- [17] J. Hundemberg, P. Barbosa, “ Nanocompósitos de fosfato de cálcio com óxido de titânio – Síntese e caracterizações ”, Universidade Federal da Paraíba, 2012.
- [18] N.I. of S. and T. Mathew, Mathai (American Dental Association Health Foundation, Paffenbarger Research Center, N.I. of S. and T. Shozo, Takagi (American Dental Association Health Foundation, Paffenbarger Research Center, Structures of Biological Minerals in Dental Research, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. 106 (2001) 1035–1044. <http://www.nist.gov/jres>.
- [19] K. Momma, F. Izumi, VESTA 3 for three-dimensional visualization of crystal, volumetric and morphology data, *Journal of Applied Crystallography*. 44 (2011) 1272–1276. <https://doi.org/10.1107/S0021889811038970>.
- [20] T. Tsuchida, J. Kubo, T. Yoshioka, S. Sakuma, T. Takeguchi, W. Ueda, Reaction of ethanol over hydroxyapatite affected by Ca/P ratio of catalyst, *Journal of Catalysis*. 259 (2008) 183–189. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2008.08.005>.
- [21] E. Mavropoulos, A Hidroxiapatita como Removedora de Chumbo, Fundação Oswaldo Cruz, 1999. <http://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/5315>.
- [22] M. de C. (IPEN) Valente, Síntese de hidroxiapatita e sua aplicação como biomaterial, IPEN Autarquia da Universidade de São Paulo, 1999.
- [23] T.M. (LABIOMAT-U. Volkmer, OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE HIDROXIAPATITA POROSA PELO MÉTODO GELCASTING DE ESPUMAS PARA USO COMO IMPLANTES, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.
- [24] J.B. Mamani, Estrutura e Propriedades de Nanopartículas Preparadas via sol-gel, Universidade de São Paulo, 2009. <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/43/43134/tde-24082009-090624/>.
- [25] R.M. (LACER-U. Trommer, OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS DE HIDROXIAPATITA SOBRE SUBSTRATOS DE AÇO INOXIDÁVEL 316L UTILIZANDO A TÉCNICA DE DEPOSIÇÃO QUÍMICA DE VAPOR ASSISTIDA POR CHAMA, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.
- [26] M.E. Bahrololoom, M. Javidi, S. Javadpour, J. Ma, Characterisation of natural hydroxyapatite extracted from bovine cortical bone ash, *Journal of Ceramic Processing Research*. 10 (2009) 129–138.

- [27] N. Doebelin, R. Kleeberg, Profex : a graphical user interface for the Rietveld refinement program BGMN, *Journal of Applied Crystallography*. 48 (2015) 1573–1580. <https://doi.org/10.1107/S1600576715014685>.
- [28] H.P. (Carnegie-M.U. Klug, L.E. (Carnegie-M.U. Alexander, *X-Ray Diffraction Procedures, Second*, JOHN WILEY & SONS, New-York, New York, 1974.
- [29] B.D. (Department of M.E. and M.S./ U. of N.D. Cullity, *Elements of X-Ray Diffraction*, 1978.
- [30] B. Jokić, M. Mitrić, V. Radmilović, S. Drmanić, R. Petrović, D. Janačković, Synthesis and characterization of monetite and hydroxyapatite whiskers obtained by a hydrothermal method, *Ceramics International*. 37 (2011) 167–173. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2010.08.032>.
- [31] R.L. Frost, Y. Xi, G. Millar, K. Tan, S.J. Palmer, Vibrational Spectroscopy of Natural Cave Mineral Monetite CaHPO_4 and the Synthetic Analog, *Spectroscopy Letters*. 46 (2013) 54–59. <https://doi.org/10.1080/00387010.2012.663852>.
- [32] R.L. Frost, Y. Xi, S.J. Palmer, Are the 'cave' minerals archerite (K, NH_4) H_2PO_4 and biphosphammite (K, NH_4) H_2PO_4 identical? A molecular structural study, *Journal of Molecular Structure*. 1001 (2011) 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2011.06.015>.
- [33] U. of P. Koutsopoulos, S. (Department of Chemistry, Synthesis and characterization of hydroxyapatite crystals: A review study on the analytical methods, *Journal of Biomedical Materials Research*. 62 (2002) 600–612. <https://doi.org/10.1002/jbm.10280>.
- [34] M. Sadat-Shojai, M.T. Khorasani, E. Dinpanah-Khoshdargi, A. Jamshidi, Synthesis methods for nanosized hydroxyapatite with diverse structures, *Acta Biomaterialia*. 9 (2013) 7591–7621. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2013.04.012>.

ESTUDOS DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO MONOFÁSICAS

Data de aceite: 02/08/2021

Emiliane Advincula Malheiros

Departamento DEPIC e DERIN e IFPA Campus
Belém-IFPA
Belém/PA

Roberto Paulo Barbosa Ramos

Departamento DEPIC e DERIN e IFPA Campus
Belém-IFPA
Belém/PA

RESUMO: O fenômeno eletromagnético descarga atmosférica ocorre nas linhas de transmissão provocando desligamentos não programados no sistema de energia elétrica o que causa prejuízos significativos no setor elétrico brasileiro. O presente trabalho tem como objetivo entender como esse fenômeno ocorre e de que forma ele se comporta quando incidir sobre uma LT de energia elétrica mesmo possuindo um sistema de proteção como pára-raios. Com base neste estudo procura-se analisar os transitórios gerados por descargas atmosféricas e seu comportamento em uma linha de transmissão de 69kV, utilizou-se o programa ATPDraw para simulação computacional da descarga atmosférica na LT simulando variações de tensão e corrente.

PALAVRAS-CHAVE: Linhas de transmissão, descarga atmosférica e ATPDraw.

ABSTRACT: The electromagnetic phenomenon of atmospheric discharge occurs in the transmission lines, causing unscheduled

shutdowns in the electric power system, which causes significant damage to the Brazilian electric sector. The present work aims to understand how this phenomenon occurs and how it behaves when it affects an electric energy TL even having a protection system such as lightning rods. Based on this study, the aim is to analyze the transients generated by lightning strikes and their behavior in a 69kV transmission line, using the ATPDraw program for computational simulation of lightning in the TL, simulating voltage and current variations.

KEYWORDS: Transmission lines, lightning and ATPDraw.

INTRODUÇÃO

Transitórios são distúrbios causados por alterações súbitas nas condições operacionais de um sistema de energia elétrica. Tal fenômeno pode ser classificado em dois grupos, os chamados transitórios impulsivos, causados por descargas atmosféricas e os transitórios oscilatórios, causados por chaveamento. Entretanto, somente o transitório do tipo impulsivo será o objeto de estudo, pois será observado o comportamento de um distúrbio em uma LT provocado por uma descarga atmosférica. Tal procedimento será analisado pelo programa ATPDraw. Uma descarga atmosférica pode ser compreendida como um fenômeno natural que ocorre de nuvem para nuvem ou da nuvem para a terra, e sua formação se dá quando a própria

nuvem separa naturalmente as suas cargas no seu interior através da ação do vento, e a partir disto ela se torna uma espécie de bipolo com cargas positivas na parte superior e cargas negativas na parte inferior, onde cerca de 90% das nuvens apresentam essa configuração (MAMEDE, 2005). Destarte, cria-se uma diferença exacerbada entre cargas (Nuvem e Solo), onde o meio ambiente precisa de um fator equilibrante no sistema que é a própria descarga atmosférica, e assim o excesso de carga negativa na nuvem compensa a falta de tal carga no solo.

LINHAS DE TRANSMISSÃO

As linhas de transmissão, têm a finalidade de transportar energia elétrica para todas as localidades que precisam deste recurso (grupos de consumidores), e com o mínimo de perdas possíveis. Estas linhas são estendidas por longas distâncias até chegarem aos seus consumidores.

No Brasil, os níveis das tensões nas LT's estão padronizadas abaixo:

Transmissão: 69, 138, 230, 500 e 750 kV;

Subtransmissão: 34.5, 69 e 138 kV.

A Figura 1, representa uma torre de LT com sua geometria e seus respectivos componentes.



Figura 1 - Torre de Linha de Transmissão.

ELEMENTOS BÁSICOS DE UMA LT:

- Estrutura;
- Isoladores;
- Condutores fase;
- Cabo-guarda(pára-raios).

A Figura 2, representa o cabo guarda na torre de transmissão.



Figura 2 – Cabos Guarda.

Fonte - Postes de alta tensão - Webnode.

São classificadas em três tipos de LT:

LINHA DE TRANSMISSÃO CURTA	
TENSÃO DE LINHA (VL)	COMPRIMENTO MÁXIMO (L)
$VL < 150\text{kV}$	80km
$150\text{kV} \leq VL < 400\text{kV}$	40km
$VL \geq 400\text{kV}$	20km

LINHAS DE TRANSMISSÃO MÉDIA	
TENSÃO DE LINHA (VL)	COMPRIMENTO MÁXIMO (L)
$VL < 150\text{kV}$	$80\text{km} \leq L \leq 200\text{km}$
$150\text{kV} \leq VL < 400\text{kV}$	$40\text{km} \leq L \leq 200\text{km}$
$VL \geq 400\text{kV}$	$20\text{km} \leq L \leq 100\text{km}$

Observação: Linha de transmissão Longa: comprimento > 249 km.

SISTEMA DE PROTEÇÃO DE UMA LT:

É importante que se tenha um sistema de proteção bem dimensionado e efetivo quando se trata de Linhas de Transmissão.

O cabo pára-raio e o sistema de aterramento são algo de suma importância para manter uma LT devidamente protegida, pois é através destes dois sistemas que a descarga atmosférica é anulada. Isto ocorre quando uma LT recebe uma descarga atmosférica, onde tal descarga atinge o cabo pára-raio, onde a corrente elétrica gerada percorre a torre e ao encontrar o sistema de aterramento, consegue escoar para a terra. Para que isso ocorra é preciso que o sistema de aterramento esteja dimensionado para que se tenha o mínimo de resistência possível, assim a sobre corrente gerada pela descarga atmosférica não encontre dificuldade para fluir para a terra.

Outro dispositivo de proteção bastante interessante é o DPS (Dispositivo de Proteção contra Surtos). A função dele é essencialmente detectar sobretensões transitórias na rede elétrica, e desviar as correntes de surto que são geradas em um curto espaço de tempo.

METODOLOGIA ATPDRAW

O ATP Draw (Alternative Transient Program) é um software dedicado para estudos eletromagnéticos, possuindo uma série de aplicações e vantagens. Por meio dele é possível modelar adequadamente os sistemas elétricos, reproduzindo o mais fiel possível a configuração elétrica real das redes, além de apresentar o diagrama unifilar em um ambiente gráfico. Ele possui recursos para modelar tanto os sistemas de transmissão como os de distribuição em uma mesma plataforma, permitindo as análises de transitórios eletromagnéticos para diferentes configurações operacionais. A simulação foi feita com base em uma linha de transmissão de 69kV, onde foi utilizado o modelo matemático PI, pois o mesmo é adequado à tensão nominal da linha que foi utilizada.

Modelos Matemáticos utilizados no ATPDRAW:

1. **PI**
2. **JMartí**
3. **Bergeron**
4. **Noda**
5. **Semlyen**

MODELO DO CIRCUITO ATPDRAW UTILIZADO:

A Figura 3, representa o modelo de circuito para simulação de descarga atmosférica.

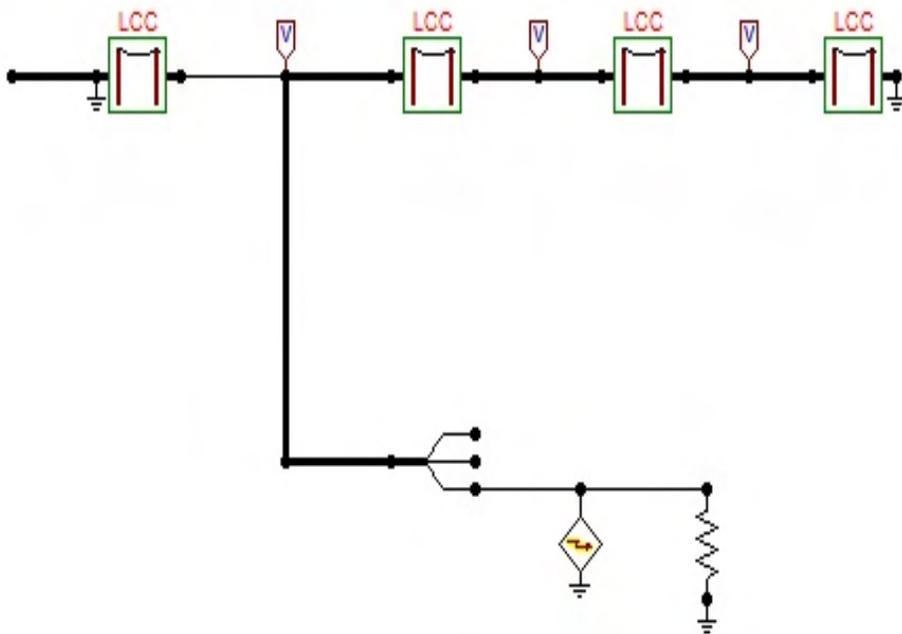


Figura 3-Modelo de circuito para simulação de descarga atmosférica.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A figura 4 e 5, representam a tensão em função do tempo foi possível concluir que um transitório pode causar um grande prejuízo em toda rede elétrica, mesmo em um curtíssimo espaço de tempo (tais como pane no sistema, danos aos equipamentos e desligamento brusco), pois é possível observar que quanto maior a corrente de descarga incidente, maior será a sobretensão da linha e quanto maior o pico de tensão maior a corrente associada a ela, e que os transitórios de tensão e corrente são de natureza inteiramente elétrica.

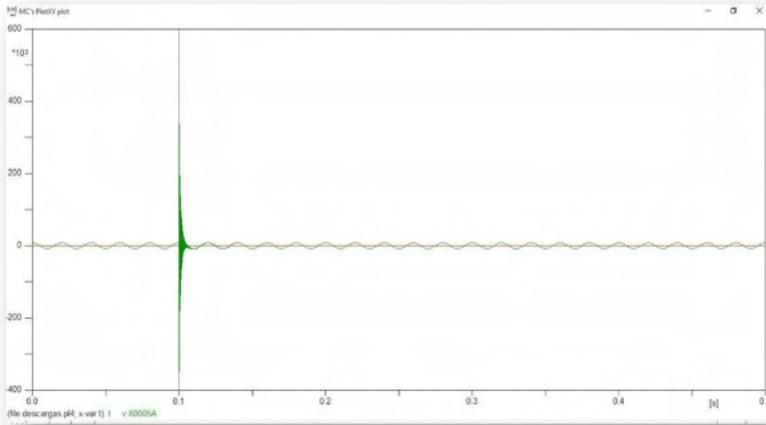


Figura 4-Simulação de transiente com descargas atmosféricas em LT monofásica no ponto 1.

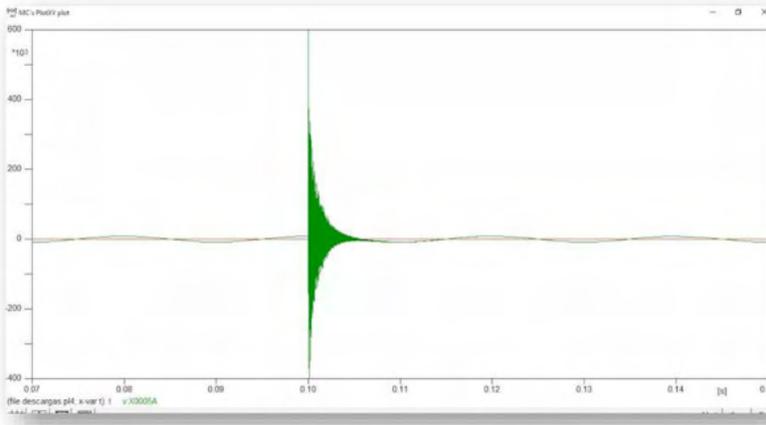


Figura 5-Simulação de transiente com descargas atmosféricas em LT monofásica no ponto 1 ampliado.

CONCLUSÃO

Nesta pesquisa foi possível concluir que um transiente pode causar um grande malefício em toda rede elétrica, mesmo em um curtíssimo espaço de tempo (tais como pane no sistema, danos aos equipamentos e desligamento brusco), pois é possível observar que quanto maior a corrente de descarga incidente, maior será a sobretensão da linha e quanto maior o pico de tensão maior a corrente associada a ela, e que os transientes de tensão e corrente são de natureza inteiramente elétrica

Com base nestas análises é possível antecipar um melhor jeito de se proteger o sistema elétrico, prevendo portanto o nível básico de isolamento das torres que sustentam as Linhas de Transmissão, bem como o sistema de aterramento (que favorece a passagem da

descarga atmosférica para a terra), e o Dispositivo de Proteção contra Surtos (que detecta os transitórios e desvia a corrente de surto).

REFERÊNCIAS

MAMEDE FILHO, João- Manual de Equipamentos Elétricos- 3ª edição, Ed: LTC/GEN, 2005.

KINDERMAM, Geraldo- Curto-Circuito, 2ª ed: porto Alegre- Editora Sagra Luzzato, 1997.

VISACRO FILHO, Silvério. Aterramentos elétricos: Conceitos Básicos Técnicas de Medição e Instrumentação- Filosofias de Aterramento. Ed: Artliber, São Paulo, 2002.

POSTES DE ALTA TENSÃO. **Descobre aqui tudo sobre os perigos das linhas de alta tensão.** Disponível em: <<https://fisicaequimicapostesaltatensao.webnode.pt/>>. Acesso em: 17 de Jun. 2018.

ATPDRAW. **Welcome to the web page of ATPDraw.** Disponível em: <www.atpdraw.net>. Acesso em 18 de Jun. 2018.

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO NA FASE DA HIDROXIAPATITA OBTIDA PELO MÉTODO SOL-GEL

Data de aceite: 02/08/2021

Marilza Aguilar

UNESA

José Brant de Campos

UERJ

Bruno Cavalcante Di Lello

UNESA

Nataly Cristiane de Campos Amador Garcias

UFRGS

Vitor Ramos

UERJ

RESUMO: Este trabalho descreve a síntese de hidroxiapatita pelo método sol-gel a partir de carbonato de cálcio proveniente de materiais biológicos, tais como conchas e cascas de ovos de galinha. O objetivo desse estudo foi comparar os precursores utilizados, cascas de ovos de ovos de galinha e conchas, e sua influência na obtenção de hidroxiapatita. Os pós obtidos foram caracterizadas por Difração de Raios X, Microscopia Eletrônica de Varredura, Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X e por Brunauer–Emmett–Teller. O EDS mostrou que as amostras são compostas por Ca, P e O, e o B.E.T. determinou áreas específicas inferiores a 15 m²/g. A MEV mostrou uma morfologia de partículas aglomeradas e os resultados de DRX determinaram que a fonte de Cálcio influencia no teor de Hidroxiapatita obtida, onde a amostra sintetizada com o uso de cascas de ovos obteve a

maior percentagem, em peso, de Hidroxiapatita.

PALAVRAS-CHAVE: Hidroxiapatita, Sol-Gel, Materiais biológicos.

ABSTRACT: The chemical and morphological properties of hydroxyapatite depend on the method used in their synthesis. This paper describes the use of chicken eggshells, in the synthesis of the hydroxyapatite sol-gel method, in order to verify the effect of the calcination temperature on the obtained calcium phosphate phase. The samples were calcined at temperatures of 600, 800 and 1000 ° C. The powders were characterized by X-Ray Diffraction, Scanning Electron Microscopy, Energy Dispersive X-ray Spectrometry and Brunauer-Emmett-Teller. EDS showed that the samples are composed of Ca, P and O, and B.E.T. determined specific areas less than 15 m² / g. SEM showed a morphology of agglomerated particles and XRD results determined that the calcination temperature influences the content of hydroxyapatite obtained, where the sample calcined at 1000 ° C had the highest percentage by weight of hydroxyapatite.

KEYWORDS: Hydroxyapatite, Sol-Gel, Shell eggs.

INTRODUÇÃO

A hidroxiapatita (HAP) é um mineral da família das apatitas e possui fórmula química Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂. Nos últimos 30 anos, a HAP tem provocado um grande interesse em função da multiplicidade de suas utilizações. Nas aplicações tecnológicas, a HAP é usada

como enxerto ósseo(1), no revestimento de implantes metálicos com titânio(2). Outra característica importante da HAP é sua capacidade de adsorção, o que faz com que ela possa ser usada como suporte para antibióticos e drogas anticancerígenas e ser empregada também, como catalisadores e suportes de catalisadores(3).

As propriedades químicas e morfológicas da HAP podem ser modificadas através do método de síntese utilizado dos reagentes e das condições reacionais adotadas. Cada variação pode vir a ocasionar a obtenção de inúmeras fases de fosfatos de cálcio, além de uma grande modificação de comportamentos, tais como: defeitos cristalinos, mudanças nas propriedades texturais, na morfologia dos pós, na afinidade por materiais orgânicos encontrados no meio fisiológico, entre outras.

Na literatura, várias rotas de obtenção da hidroxiapatita são descritas, cada uma apresentando diferenças nas propriedades finais das matrizes cerâmicas obtidas. A HAP pode ser fabricada a partir de precipitação de soluções aquosas contendo os íons precursores, reação de neutralização, síntese em estado sólido, gelcasting, dip

Coating, spin Coating, sol-gel, entre outros (4,5). Na técnica de sol-gel os géis poliméricos são preparados, de uma forma geral, a partir de soluções, onde se promovem as reações de hidrólise e condensação dos precursores com o objetivo da formação de partículas coloidais, chamadas de sol, e subsequente formação de uma rede tridimensional, que pode apresentar uma estrutura rígida de partículas coloidais (gel coloidal) ou de cadeias poliméricas (gel polimérico), que imobiliza a fase líquida nos seus interstícios.

Os resíduos industriais são um dos principais problemas da produção industrial. Uma solução viável para este problema seria o seu reaproveitamento como matéria-prima para obtenção de outros materiais. As cascas de ovos, geradas em grande quantidade no Brasil, aproximadamente 600 milhões de dúzias de ovos de galinha por trimestre de 2010(6), contêm 94 e 97% de CaCO_3 e podem, portanto, fonte de cálcio para a produção de Hidroxiapatita(7).

Na maioria dos processos de síntese dos pós de hidroxiapatita se faz necessário um posterior tratamento térmico para consolidar a matriz cerâmica por meio de mecanismos de sinterização. Os pós sinterizados possuem características que os diferem daqueles chamados “verdes”, os quais não passaram por nenhum tratamento térmico.

A calcinação do pó obtido pode alterar a fase presente no sólido, pois cada uma das fases dos fosfatos de cálcio apresenta diferentes estabilidades térmicas e propriedades físicas. Uma pequena variação na razão Ca/P do pó sintetizado resulta numa grande variação das proporções das fases formadas após a calcinação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os pós de hidroxiapatita foram sintetizados com a utilização de cascas de ovos de galinha como precursores de carbonato de cálcio.

Primeiramente todos os resíduos das cascas de ovos são lavados em água corrente para a retirada das impurezas. O tratamento físico-químico consiste na calcinação realizada em forno mufla com temperatura de 1000 °C por 2h e tem como objetivo a queima e volatilização de qualquer material orgânico agregado ao material biológico. Através da etapa de calcinação obtemos como produto o óxido de cálcio (CaO) que é reagido com água deionizada em excesso, sob agitação constante, com o objetivo de sua total conversão em Ca(OH)₂.

Com a presença da espécie Ca(OH)₂ proveniente da conversão dos restos biológicos no meio aquoso, é realizada a adição de ácido fosfórico, mantendo-se o pH controlado entre 9,0 e 11, através da adição em paralelo de NH₄OH. O meio é mantido sob agitação constante e aquecimento e ao final do processo o gel é obtido.

O gel é deixado em repouso para decantar e, posteriormente é filtrado e lavado com água deionizada com o objetivo da retirada de qualquer coproduto reacional. A hidroxiapatita verde é seca em estufa durante 12h.

A última etapa da síntese consiste na calcinação do material obtido após a secagem nas temperaturas de 600, 800 e 1000 ° C. As amostras foram caracterizadas por quatro métodos de análise: Difração de Raios X (DRX), que foi realizada para obter a caracterização cristalográfica de sólidos; Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), objetivando a caracterização da morfologia das partículas, onde também foi realizado análises de Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS), para identificar os elementos químicos presentes e, conseqüentemente, o mineral obtido e a sua composição e o método de Brunauer, Emmett e Teller (B.E.T), que descreve a adsorção física de moléculas de gás sobre uma superfície sólida e serve como base para a determinação da área superficial específica de um material.

A determinação da fase formada foi realizada por meio de técnicas de Difração de Raios X (DRX), onde as medidas foram realizadas com as amostras em pó, utilizando um difratômetro PANalytical PRO XPERT com radiação CuK α , uma etapa de digitalização de 0.05o e um tempo de coleta de 100 segundos por passo. Cálculos Rietveld quantitativas foram feitos usando TOPAS Academic, versão 4.1.

As análises de Espectrometria de Energia Dispersiva de Raios-X (EDS) e de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foram obtidas utilizando JEOL JSM 6510 LV usando 10 e 15 aceleração kV.

A determinação da área superficial foi realizada com um pré-tratamento 300°C e vácuo de 12h com o equipamento ASAP 2000 da Micromeritics.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta o resultado obtido pelo ajuste quantitativo das fases pelo Método de Rietveld. A linha azul do difratograma representa o resultado experimental, a

linha vermelha o ajustado e a linha cinza representa a diferença entre os dois.

Através da análise dos resultados, observa-se que a temperatura de calcinação altera a fase obtida na síntese. Ocorre uma diminuição significativa na percentagem de hidroxiapatita sintetizada, conforme a temperatura é aumentada de 600 °C para 800 °C e para 1000 °C.

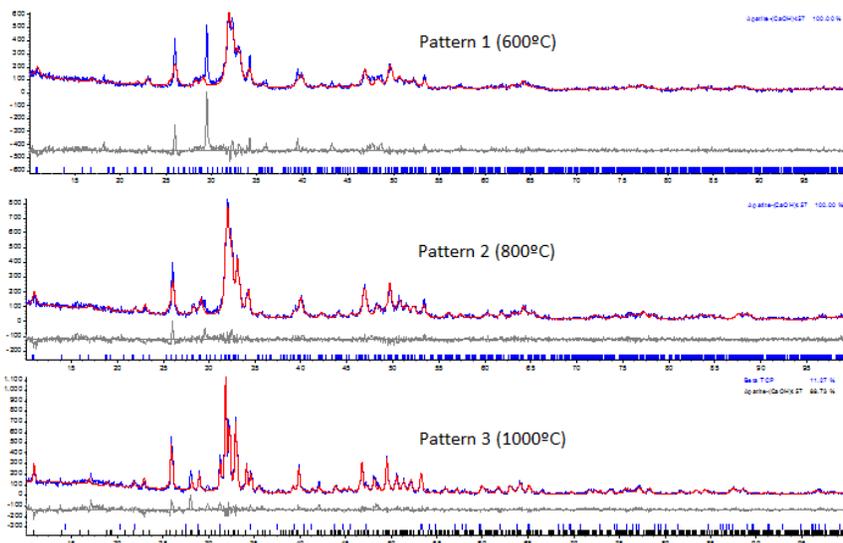


Fig 1: Difratogramas das amostras calcinadas nas temperaturas de 600 °C, 800 °C e 1000 °C.

A morfologia dos pós obtidos após a calcinação pode ser observada na figura 2 que mostra as micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura.

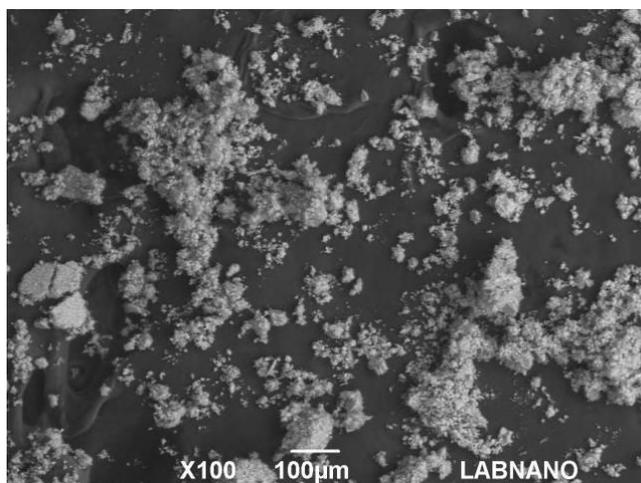
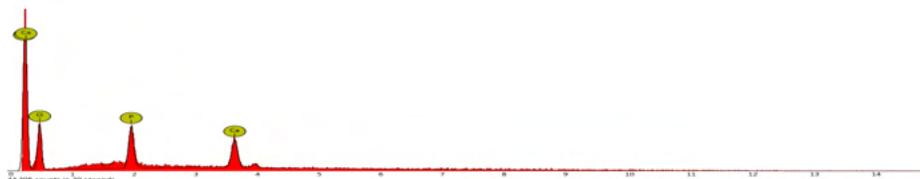


Fig 2: Micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura para a amostra calcinada a 1000 °C.

Através da análise das micrografias, é possível observar que as partículas de hidroxiapatitas obtidas estão aglomeradas, o que está de acordo com a literatura, pois quanto menor o tamanho das partículas maior é a tendência à aglomeração. As análises de EDS mostram que as amostras são compostas basicamente por Cálcio, Fósforo e Oxigênio, o que está de acordo com o teoricamente esperado para a hidroxiapatita, como mostrado na figura 3.



Element Number	Element Symbol	Element Name	Confidence	Concentration	Error
6	C	Carbon	100.0	22.2	1.2
8	O	Oxygen	100.0	62.3	2.1
15	P	Phosphorus	100.0	8.4	1.9

Fig 3: Análise de EDS da amostra calcinada a 600 °C.

Os resultados das análises por B.E.T., com a fisissorção de N₂ a -196°C, realizada no equipamento ASAP 2020 da Micromeritics demonstraram uma redução na área específica e volume de poros de acordo com o aumento da temperatura de tratamento térmico utilizado. Todas as amostras apresentaram áreas específicas BET muito baixas, inferiores a 10 m²/g. Este equipamento não apresenta precisão quando as áreas medidas por adsorção de N₂ são inferiores a 10 m²/g. Sólidos com áreas muito baixas, a literatura recomenda a troca do adsorbato N₂ pelo Kr.

CONCLUSÃO

A investigação desta rota química para a obtenção de hidroxiapatita a partir de materiais biológicos tais como cascas de ovos de galinha, mostrou ser viável para a via reacionais pesquisada, já que de acordo com os métodos de caracterização utilizados, a hidroxiapatita foi obtida, embora não como única fase de fosfato de cálcio quando a temperatura de calcinação utilizada foi de 1000°C. Observou-se também uma forte influência da temperatura de calcinação tanto nas fases obtidas, quanto nas propriedades texturais dos pós.

REFERÊNCIAS

- 1 - PAIVA, M. R. S. ; MISO, A., M. ; HIGA, O, Z. ; CUNHA, T., F. ; RODAS, A. D. ; SILVEIRA, A. C. F. ; YAMAGATA, C. Síntese e caracterização de vitro-cerâmica do sistema CaO-MgO-SiO₂ para aplicação biomédica. COLAOB – Congresso Latino-Americano de Órgãos Artificiais e Biomateriais, Natal, 2012. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/2012/eventos/18990.pdf>. Acesso em 20/03/2016.
- 2 - XIAOMING, L.; HONGYANG, Z.; GUANGFU, Y.; ZHONGBING, H.; YADONG, Y.; XIANCHUN, C. In vitro bioactivity and cytocompatibility of tricalcium silicate. Ines Repository Search, Vol 34, No. 5, 1151-1155, 2011. Disponível em: http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/105/42105346.pdf. Acesso em 20/03/2016.
- 3 - BORGES, F.L, JORDÃO, E. Caracterização físico-química de catalisadores à base de Pt. VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Disponível: <https://www.prp.rei.unicamp.br/pibic/congressos/xiiicongresso/cdrom/pdfN/374.pdf>
- 4 - RIGO E. C.S.; GEHRKE, S. A.; CARBONARI, M. Síntese e caracterização de hidroxiapatita obtida pelo método da precipitação. Rev. Dental Press Periodontia Implantol., Maringá, v. 1, n. 3, p. 39-50, 2007.
- 5 - V' AZQUEZ, C. G.; BARBA, C. P.; MUNGU'IA, N. Stoichiometric hydroxyapatite obtained by precipitation and sol gel processes. Revista mexicana de física 51 (3) 284–293 junio 2005.
- 6 - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Indicadores IBGE - Estatísticas da Produção Agropecuária. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201003_publ_completa.pdf. Publicado em: Dezembro de 2010. Acesso em 20/03/2016.
- 7 - OLIVEIRA, D. A.; BENELLI, P.; AMANTE, E. R.; Valorização de resíduos sólidos: cascas de ovos como matéria-prima no desenvolvimento de novos produtos. II International Workshop - Advances in Cleaner Production. São Paulo - Brasil, 2009.

REDISTRIBUIÇÃO DA VAZÃO AR EM MINA SUBTERRÂNEA PARA AUMENTO DE HORAS DISPONÍVEIS EM OPERAÇÃO DE LAVRA

Data de aceite: 02/08/2021

Alisson Brasil
UFMG

Renan Collantes Candia
UFMG

RESUMO: A mineração vem gerando na economia brasileira uma média de 3,1% no Produto interno Bruto (PIB), durante o período 2013 a 2018 (IBRAM, 2015) [1], porém em recessões e cenários cada vez mais competitivos, torna-se essencial análise de gargalos operacionais para aumento da cadeia do fluxo de valor interno, fator importante à sobrevivência e longevidade das operações. Tendo como premissa, que desenvolvimentos contínuos há de serem fomentadas em quaisquer processos, desperdícios necessitam serem minimizados, e otimizar faz parte da indústria mineral, o estudo teve como principio a redução de desperdícios em processo de ventilação de mina, objetivando a otimização de distribuição de ar por uma ventilação sob demanda, equalização do circuito de ventilação, e como resultado final, a redução de horas impactadas em painéis de lavra, por motivos relacionados a temperatura, acima dos limites admissíveis pela NR15.

PALAVRAS-CHAVE: Ventilação de Mina. Gestão de Processos. Melhoria Continua.

ABSTRACT: Mining has been generating in the Brazilian economy an average of 3.1% in the Gross Domestic Product (GDP), during the

period 2013 to 2018 (IBRAM, 2015) [1], however in recessions and increasingly competitive scenarios, it has become essential analysis of operational bottlenecks to increase the internal value flow chain, an important factor for the survival and longevity of operations. Taking as a premise, that continuous developments must be fostered in any processes, waste needs to be minimized, and optimizing is part of the mineral industry, the study had the principle of reducing waste in the mine ventilation process, aiming at optimizing the distribution of air for ventilation on demand, equalization of the ventilation circuit, and as a final result, the reduction of hours impacted on mining panels, for reasons related to temperature, above the limits allowed by NR15.

KEYWORDS: Mine ventilation. Processes management. Continuous improvement.

INTRODUÇÃO

Nenhum processo é permanentemente adequado ou correto indefinidamente, e a mineração ao longo da história vem se reinventando com novos métodos e processos, a fim de contribuir para a evolução da humanidade em relação aos recursos minerais (Curi, 2017) [2]. Na era moderna, após a segunda guerra mundial, as indústrias, principalmente as do Japão, tiveram que buscar soluções para reconstrução do país, com pouco recurso disponível. Uma das empresas que conseguiram trazer soluções, reduzindo perdas, falhas e desperdícios foi a Toyota Motors

(Werkema, 2012) [3], injetando um pensamento enxuto ao redor do mundo nas indústrias manufatureiras e nos setores primários, inclusive o extrativista.

O modelo implementado nas indústrias manufatureiras/automobilísticas do Japão ficou conhecido como STP (Sistema Toyota de Produção) sendo sua filosofia amplamente difundida e até hoje adotada, conhecida como *Lean Manufacturing*, cujo pilar é o foco na identificação e posterior minimização de desperdícios (OHNO, 1991) [4], sendo alguns destes desperdícios conhecidos como: transporte desnecessário, defeitos, processamento inadequado, tempo de espera e movimento desnecessários.

Como processo dentro da mineração subterrânea, a ventilação de mina tem papel direto e correlacionado as questões de segurança, saúde, e performance, avaliada este último pelo rendimento do trabalhador ao fator temperatura (Massanés, 2015) [5]. Condições ambientais subterrâneas desfavoráveis causam efeitos no rendimento operacional do colaborador, devendo atender os normas reguladores vigentes e admissíveis inseridas na NR-15 [6] e NR-22) [7].

Segundo Hartmann (1982), os objetivos de um sistema de ventilação estão atrelados ao fornecimento de ar para os trabalhadores na quantidade e qualidade necessárias, diluindo e tornando inofensivos gases tóxicos e explosivos, produzidos no ambiente subterrâneo, fazendo com que haja a remoção de poeiras e gases, a uma velocidade adequada, mantendo a temperatura e umidade, dentro das condições exigidas pelas Normas regulamentadoras (NR).

Assim como em todo o processo de mineração, a área da ventilação de mina apresenta problemas. Os desperdícios na ventilação de mina são por vezes imperceptíveis, a menos que aconteçam interrupções nas atividades fins, como por exemplo, a elevação da temperatura acima das normas regulamentadoras em frentes de lavra, sondagem, oficinas de manutenção e apoio.

Dentre fatores que contribuem para o aumento de temperatura em uma mina subterrânea, podem ser considerados: fugas de ar geralmente em (cortinas, tapumes, portas, dutos rasgados), baixa capacidade dos ventiladores instalados, excesso de área aberta/lavrada, distância das frente de lavra ao circuito de ventilação principal, dificuldade técnica de regulagem dos ventiladores, instalação de ventiladores fora ao projeto aumentando o curto circuito, cruzamento de fluxo de ar (*crossing*), obstrução de insuflação e exaustão. Todos estes fatores podem causar a redução do fluxo de ar (vazão) para os locais de atividade operacional, podendo ser um potencializador para aquecimento e interrupção das atividades.

O trabalho foi realizado na análise de desperdícios associadas à ventilação de mina, para estabilização do processo de ventilação de mina, gerando menores perdas produtivas (horas), por efeito do aumento de temperatura, em painéis de operação de lavra de mina subterrânea.

METODOLOGIA

O principal ponto para a escolha de um trabalho de melhoria contínua, consiste na escolha de situações que merecem tratativas, e que até então, são desconhecidas e/ou pouco elucidadas no âmbito operacional. Para uma boa assertividade do programa de melhoria, a definição dos projetos de estudo, é uma das atividades mais importantes do processo de implementação. Projetos bem selecionados conduzirão a resultados rápidos e significativos, e conseqüentemente contribuirão para o sucesso, e a consolidação da cultura na empresa. Por outro lado, projetos inadequados implicarão na ausência ou atraso de resultados, e frustração dos envolvidos, o que poderá determinar no sucesso projeto.

Foram realizadas coletas de vazão de ar e temperatura, em locais estratégicos das rampas principais da mina, no período 28/01/20 à 02/03/20, para instalação de reguladores, visando uma redução do impacto nas horas paradas da mina, por efeito da temperatura.

Estudo de Caso

A mina do estudo está situada na região centro-leste do estado de Sergipe, no município de Rosário do Catete, distando 45 km da capital Aracaju. A operação é realizada por lavra subterrânea, com método de extração por câmaras e pilares (*room and pillar*). O ciclo operacional, tanto para lavra de estéril quanto para o minério, é composto por: desmonte mecânico por minerador contínuo, carregamento e transporte por *shuttle car*, fragmentador primário tipo *feeder brake*, transporte por correia transportadora e içamento de material por sistema de poço.

Em 2019, a produção de material desmontado foi -12 % em relação ao orçado, e para buscar ganhos nos processos produtivos, foi necessário a análise dos *KPI's* para nortear as perdas. O termo *KPI*, vem do inglês *Key Performance Indicator* (indicador chave de desempenho), que indicam o desempenho, e, permitem o acompanhamento do processo que precisa ser acompanhado.

A maior vantagem do uso destes indicadores, é a transformação de números avulsos em conhecimento sobre o negócio. Com esses dados, se conseguem fazer previsões e identificação de problemas, ao andamento das atividades, possibilitando fazer ajustes na estratégia caso sejam necessários. Em outras palavras, os *KPI's* oferecem um diagnóstico preciso da organização, o que torna os erros no planejamento cada vez menos frequentes.

Estratificando os principais indicadores de performance de desempenho em 2019, o indicador da utilização (%), foi a de maior impacto no processo de operação da mina, em cerca de 79 %, visualizada pela Figura 1. A equação (1) mostra, o cálculo de utilização comumente adotado.

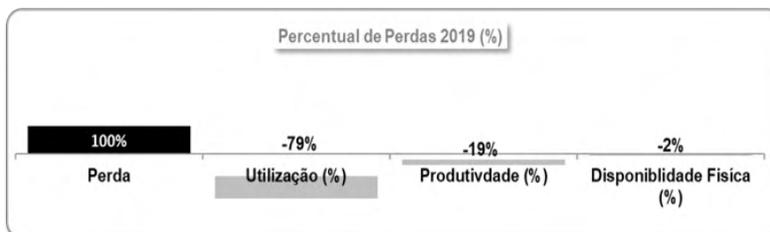


Figura 1- Perdas acumuladas em percentual de R.O.M.

$$Utilização (\%) = (H.T)/(H.P - H.O) \quad (1)$$

Sendo:

H.T= Total de horas efetivamente trabalhadas.

HP= Corresponde às horas calculadas por ano, na base de turnos previstos, já definido em conta a disponibilidade física dos equipamentos.

HO= Corresponde às horas de reparos de manutenção, incluindo a falta de peças no estoque ou falta de equipamentos auxiliares.

Sendo a utilização (%), o indicador responsável pelas maiores perdas na operação de lavra, foi necessário o entendimento das causas que a impactaram, subdivididas em horas paradas planejadas (orçadas para o ano base 2019), e não planejadas (não orçadas para o ano base 2019), conforme Tabela 1.

Área	Causas	Horas Paradas (h)		
		Não Planejadas	Planejadas	Total
Geomecânica	Atirantamento de rocha	314	838	1.152
Geomecânica	Abatimento de rocha	206	772	978
Produção	Troca de bit's	360	605	965
Geologia	Emanação de gás	847	0	847
Ventilação	Aumento de temperatura do painel	639	0	639
Produção	Falta de operador	476	0	476
Manutenção	Falta equipamento de apoio	473	0	473
Produção	Inspeção de equipamento	350	24	374
Produção	Falta de caminhonete	332	0	332
Geomecânica	Piso irregular	322	0	322
Ventilação	Prolongamento de Duto	217	19	236
Total		4.536	2.258	6.794

Tabela 1- Paradas planejadas e não planejadas relacionadas ao fator da utilização.

As horas paradas não planejadas representam cerca de 66,8 % (4.536 h), do total de horas paradas totais relacionados à operação de lavra, sendo as de maior representatividade: emanção de gás (847 h), aumento de temperatura do painel (639 h) e falta de operador (476 h). Tendo como premissa da assertividade da escolha do projeto, será priorizado como estudo a avaliação do aumento de temperatura no painel de lavra, pela maior disposição de dados. Este problema associado à ventilação de mina representou uma perda de 5.071 t de KCL (produto de venda), com perdas estimadas em R\$ 5.120.000,00, conforme Figura 2.

MEMÓRIA DE CÁLCULO DE PERDA			
Métricas Financeiras			
	Métrica	Unidade	2.019
Planejado	Volume Programado KCI	kt	484,877
	Margem	R\$/t	1.010
Métricas Técnicas			
	Métrica	Unidade	2.019
Perdas 2019	Horas Paradas Painel	h	639
	Disponibilidade Física	%	73%
	Utilização	%	28%
	Horas Efetivas Paradas	h	131
	Produtividade	t/h	173
	ROM	t	22.596
	Teor	%	25%
	Recuperação Met. KCI	%	82%
	KCI	t	5.071
Resultados Financeiros 2019:			
	Item	Unidade	2.019
Perda	Δ Receita	R\$	5.120.000
	Δ Custo	R\$	0
	Δ EBITDA	R\$	5.120.000
	Δ Investimento Corrente	R\$	0

Figura 2- Estimativas de perdas financeiras.

Para a ventilação de mina o principal indicador de paradas de atividades, está relacionado à temperatura medida para ambiente subterrâneo dado em IBUTG (°C). O Índice de temperatura de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG) foi desenvolvido inicialmente como um método simples para avaliar sobrecarga térmica em contingentes militares. Esse índice também permite o cálculo de períodos adequados de trabalho-descanso, no caso em que o índice ultrapasse os limites estabelecidos. O cálculo da temperatura IBUTG é feita com carga solar (superfície) e sem carga solar (ambientes subterrâneos), neste caso as fórmulas (1) e (2), mostram o cálculo respectivamente para com carga solar (superfície) e sem carga solar subsolo/ambiente subterrâneo.

$$IBUTG=0,7t_{bn}+0,3 t_g+0,1 t_{bs} \quad (1)$$

$$IBUTG=0,7t_{bn}+0,3 t_g \quad (2)$$

Em que:

- tbn - Temperatura de bulbo úmido natural (em °C).
- tg - Temperatura de globo (em °C).
- tbs – Temperatura de bulbo seco (em °C).

Pela NR15, é estabelecido que temperaturas com medições maiores ou iguais a 31,1 °C, as atividades devem ser paralisadas, até estabilização. Das horas totais paradas não planejadas em 2019, especificamente 2 (dois) locais/painéis denominados 1 (um) e 2 (dois) representaram 80 % (503 horas) do impacto, conforme Figura 3.

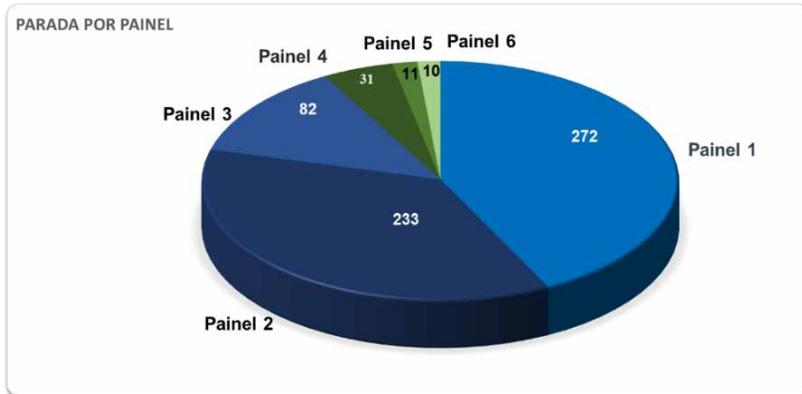


Figura 3- Tempo de parada de painel de lavra em horas, por aumento de temperatura em 2019.

A Tabela 2, é demonstrado os setores/regiões da mina com vazão de ar (m^3/s) além da necessidade (área norte e sul), enquanto outro local com deficiência teórica de vazão de ar (área nordeste).

Vazão: (Sem Regulador e Portas)

Painel	Área	Vazão Medida (Kg/m ³)	Vazão Necessária (Kg/m ³)	Diferen (m ³ /s)
1	NE	22	26	-4
2	NE	19	24	-5
3	N	61	33	+28
4	N	72	23	+49
5	S	46	38	+8
6	S	64	45	+19
Total		284	189	+95

Tabela 2- Vazão simulada x vazão necessária por área.

Com as coletas de vazão de ar (m^3/s) nos painéis 1 e 2 da área nordeste (NE), foi verificado que a quantidade de ar conjunta foi de $41 \text{ m}^3/\text{s}$, e necessidade operacional de $50 \text{ m}^3/\text{s}$, portanto deficiência de $-9 \text{ m}^3/\text{s}$ da vazão total de ar. Para os painéis da área norte (N) 3 e 4, havia uma oferta de $133 \text{ m}^3/\text{s}$, e necessidade de $56 \text{ m}^3/\text{s}$ ($+77 \text{ m}^3/\text{s}$). Já para os painéis de lavra 5 e 6 (área sul), foi ofertado $110 \text{ m}^3/\text{s}$ da vazão de ar, com necessidade operacional de $83 \text{ m}^3/\text{s}$ ($+27 \text{ m}^3/\text{s}$). Todas as quantidades de vazões de ar, foram consideradas para o atendimento das temperaturas admissíveis em ambiente subterrâneo, considerado como atividade moderada.

A simulação foi efetuado com uso do *software* de ventilação de mina conhecido como VUMA [9], (*Ventilation of Underground Mine Atmospheres*). Teve como premissa, o estudo do redirecionamento forçado/induzido de parte da vazão de ar, saindo do ventilador central para a área NE, que contemplava os painéis 1 e 2, fazendo com que uma maior oferta de vazão de ar, contribuia para a adequação da temperatura admissíveis pela NR15, havendo uma ventilação sob demanda.

DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A análise visou realizar a redistribuição de vazão de ar, e manutenibilidade da temperatura dentro dos limites estabelecidos pela NR, fazendo com que se reduzam as paradas de painéis de lavra por temperatura acima das admissíveis.

Com uso do *software* de simulação Vuma foi realizada uma validação em três cruzamentos na distribuição do fluxo das áreas: norte, nordeste e sul. Esses trechos foram usados para determinar alguns dos parâmetros fundamentais da mina relacionados ao direcionamento do fluxo de ar, sempre com efeito dos parâmetros dos ventiladores principais conforme Figura esquemática 4.

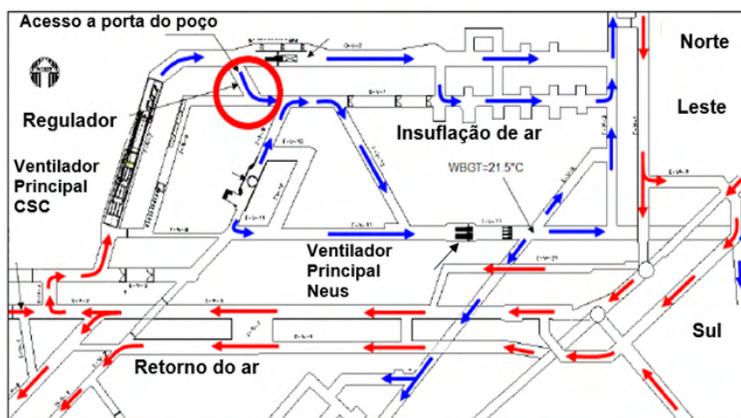


Figura 4- Exemplo de calibração para simulação de redistribuição de ar, com uso de *software*.

Além da verificação dos ventiladores a modelagem necessita de alguns parâmetros e características para a realização da simulação com utilização do software VUMA, para a qual foi preciso assumir algumas simplificações, e os valores adotados descritos na Tabela 3.

Principais informações para simulação do VUMA			
Descrição	Unid	Valores adotados	Informações Software
Área	m ²	9,0	 <p>Portas RN2 Tunnel reduced area: (Rect 3.0 m X 3.0 m); Op Layer I: N/A Layer II: N/A Level: Underground Mass flow: 48.0 kg/s Volume flow: 38.1 m³/s Pressure drop: 1442.4 Pa Resistance: 0.9951 Pa/(m³/s)² Velocity: 4.2 m/s Air heat: 0 kW Branch outlet: 15.3 °C (wb) Branch outlet: 21.0 °C (db) ACP: 257.9 W/m² WBT: 17.0 °C Tsk: 0.0 °C</p>
Fluxo de massa	Kg/s	48,0	
Volume Massa	M ³ /s	38,1	
Queda de pressão	Pa	1.442	
Resistência	Pa/(m ³ /s) ²	0,9951	
Velocidade	m/s	4,2	
Temperatura úmida	°C	15,3	
Temperatura seca	°C	21,0	

Tabela 3- Dados para calibração do modelo do circuito de ventilação.

Para simplificação do estudo foram adotadas algumas considerações:

- Na análise analítica não foram consideradas as perdas de carga para os reguladores, por meio da resistência equivalente;
- Os painéis de lavra conservam as mesmas características e concepções do planejamento de mina de 2019;
- Não ocorreram mudanças nos equipamentos de lavra e de apoio da mina;
- A produção planejada em 2019, continua em linha com a produção planejada de 2020;
- Não foram consideradas variações da temperatura na superfície, assumindo o valor de 27,2 °C;
- Foram desconsideradas obstruções de máquinas e equipamentos
- Os valores de emissão de gases e poeira não foram considerados;
- O fator de atrito de Atkinson foi considerado constante e para a situação do escoamento turbulento e totalmente desenvolvido;
- As perdas de choque não foram utilizadas, em virtude da grande variedade na natureza de perdas e tempo para análise deste cálculo; Obs: As perdas de choque desconsideradas podem levar a resultados superestimados, porém válidos para o estudo inicial.
- A redistribuição da vazão de ar com uso de portas e reguladores torna-se para

o cálculo ideal, a não perda de vazão de ar, devido às resistências criadas pelas portas e reguladores.

As coletas de vazão em campo permitem verificar que a quantidade de ar disponibilizado para os dois painéis de lavra com maiores interrupções por temperatura (1 e 2), esteve em torno de $41 \text{ m}^3/\text{s}$, com necessidade mínima simulada de $50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Com a utilização do software VUMA, foi estudada e avaliada a instalação de um regulador e portas, para redistribuição do fluxo de ar na região de entroncamento das três áreas da mina (norte, nordeste e sul). A Figura 5, é indicado que o fluxo de ar pode ser redistribuído na mina com uso de reguladores e portas, utilizando o princípio da ventilação sob demanda.

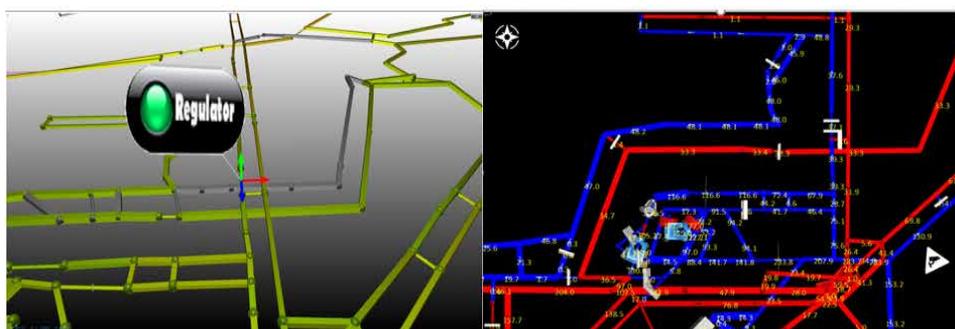


Figura 5- Simulação de vazão de ar atual para os painéis de lavra 1 e 2 com uso de reguladores/portas.

A Tabela 4, confirma que a instalação do direcionador da vazão de ar juntamente com as portas, garantem uma equalização do circuito de ventilação nas áreas norte, nordeste e sul, adotando como ponto importante, a redução da ineficiência do processo no circuito de ventilação.

Vazão: (Com Regulador e Portas)

Painel	Área	Vazão Medida (Kg/m ³)	Vazão Necessária (Kg/m ³)	Diferença (m ³ /s)
1	NE	42	26	+16
2	NE	36	24	+12
3	N	53	33	+20
4	N	43	23	+20
5	S	46	38	+8
6	S	64	45	+19
Total		284	189	+95

Tabela 4- Simulação de vazão com uso de reguladores.

A área nordeste (NE) terá uma vazão conjunta inicial de 78 m³/s com instalação de reguladores/portas, e anteriormente 50 m³/s sem o estudo de redistribuição de ar. Foi considerado as mesmas taxas de vazão de ar, esquematizado pela Figura 6.

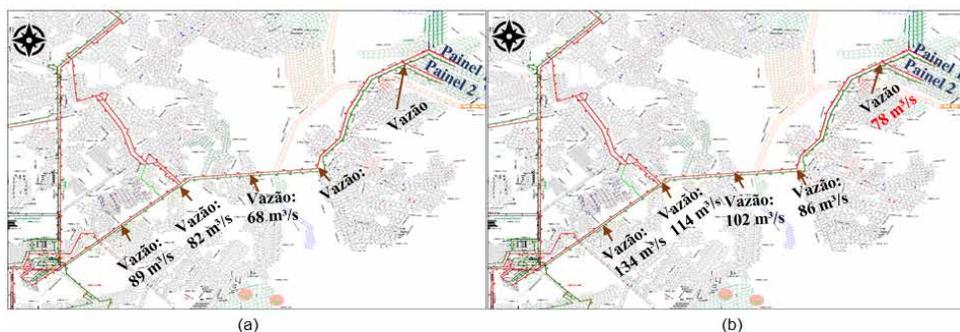


Figura 6- (a) vazão atual (m³/s) para os painéis 1 e 2, (b) vazão simulada para os painéis 1 e 2 (Contribuição do autor, 2020).

O uso da simulação, apresenta que:

- Área nordeste (NE): atualmente sem regulador de ar, os painéis (1 e 2) tem vazão de ar insuficiente para operação de lavra. Caso mantenha a vazão de ar atual, haverá interrupções na operação de lavra pelo efeito de aumento de temperatura, conforme ocorrido em 2019.
- Área norte (N) e (S): sem problemas atrelados a vazão mínima de ar. Os painéis atendem aos parâmetros admissíveis pela NR 15, mesmo após a simulação de redistribuição de vazão de ar.

A Figura 7, ilustra a instalação das portas e reguladores (dutos) para redistribuição da vazão de ar da mina, e ventilação sob demanda.



Figura 7- (a) local sem direcionador de fluxo de ar, (b) instalação de porta e reguladores.

A instalação das portas e reguladores foi realizada durante o período de 25/03/20 à 27/03/20, sendo coletadas diariamente as vazões e temperaturas a partir de 01/04/20 à 30/06/20, conforme Figuras 8 e 9.

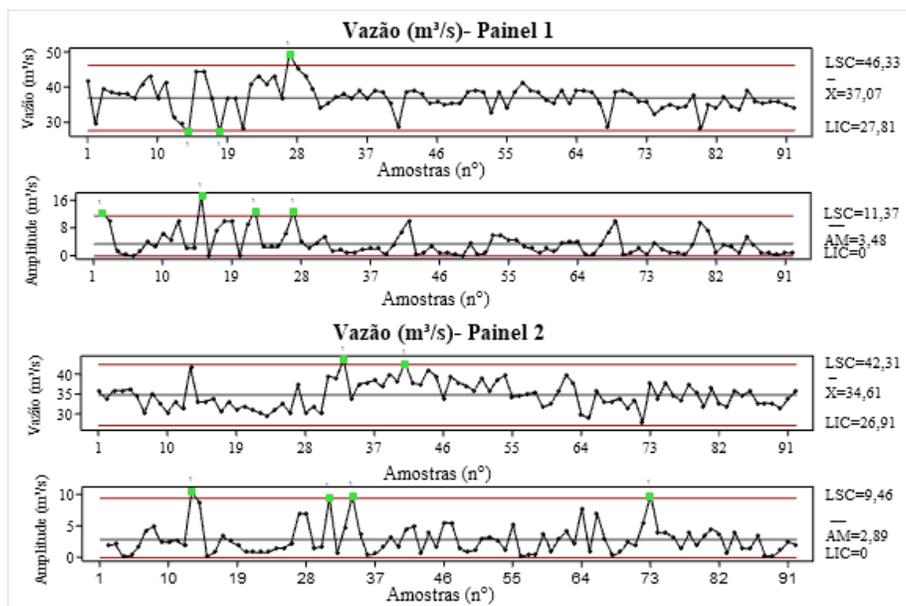


Figura 8- Carta de controle para vazão de ar referente aos painéis 1 e 2, após a instalação de portas e reguladores.

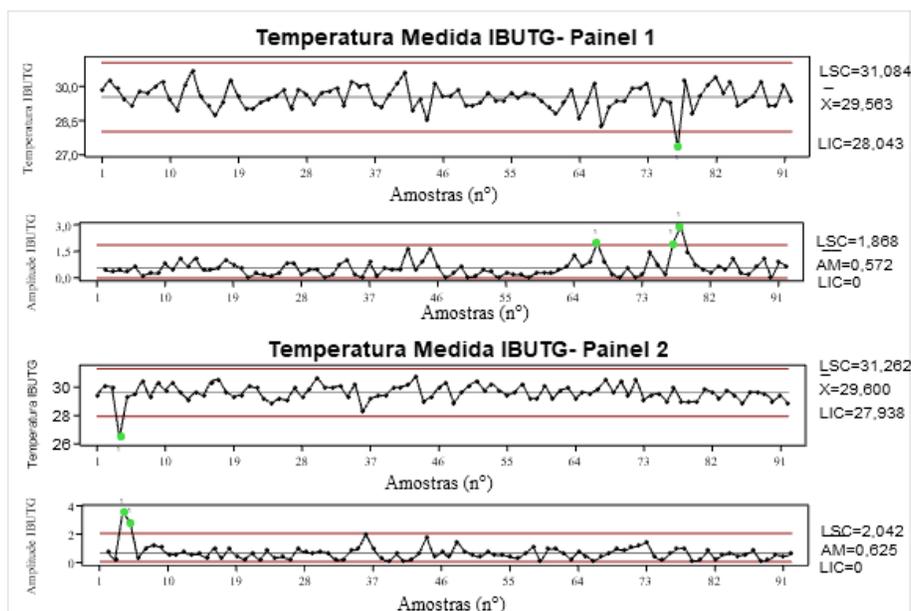


Figura 9- Carta de controle para temperatura referente aos painéis 1 e 2, após a instalação de portas e reguladores.

Em que:

- LSC (Limite superior central): trata-se do maior valor encontrado/medido/coletado dentre as 91 amostras. Neste caso a maior vazão de ar do painel 1 e 2 foram respectivamente 46,33 m³/s e 42,31 m³/s, e para a temperatura IBUTG foi de 31,1 °C para o painel 1, e 31, 3 °C para o painel 2.
- LIC (Limite inferior de controle): trata-se do menor valor encontrado/medido/coletado dentre as 91 amostras. Neste caso a menor vazão de ar do painel 1 e 2 foram respectivamente 27,81 m³/s e 26,91 m³/s, e para a temperatura IBUTG foi de 28,0 °C para o painel 1, e 27,9 °C para o painel 2.
- AM (Amplitude): diferença entre o maior valor encontrado da amostra e o menor.
- \bar{x} (Média): valor médio das amostras coletadas.

Com a instalação do regulador para distribuição e equalização do circuito, foram comparadas as vazões e temperatura dos painéis 1 e 2 referentes à média de 2019 sem uso de portas e reguladores, e a média 2020 com uso de portas e reguladores (após sua instalação), e valores simulados com uso do software Vuma, demonstradas pelas Figuras 10 e 11.

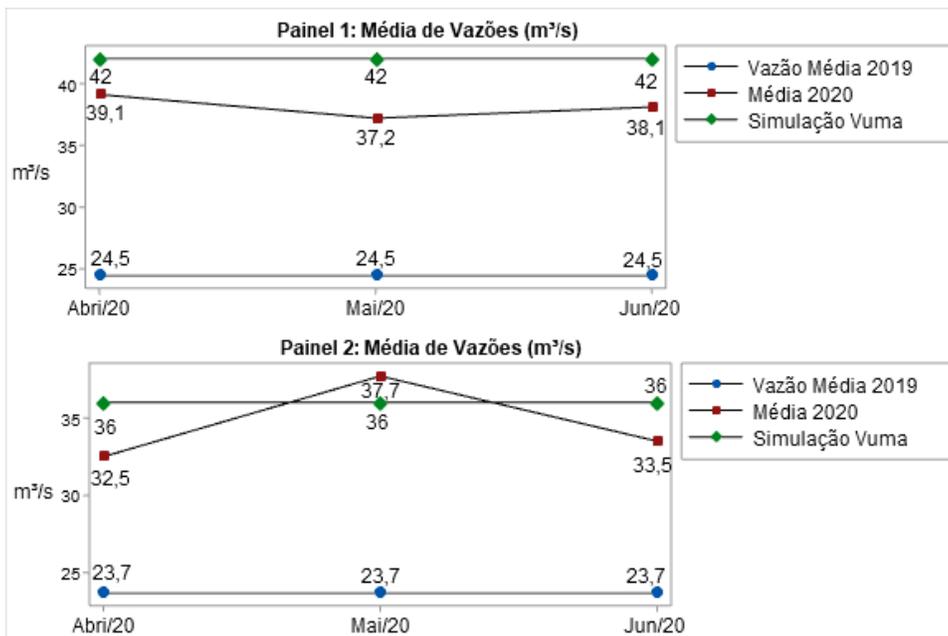


Figura 10- Comparativo da vazão média de 2019, 2020 e simulada, referente aos painéis 1 e 2, após a instalação de portas e reguladores.

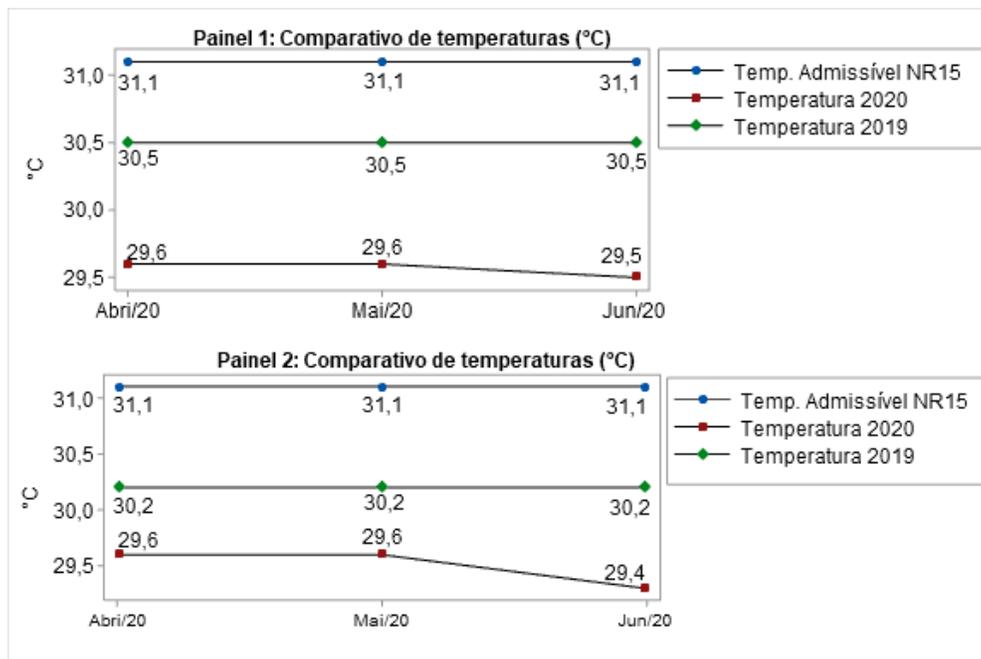


Figura 11- Comparativo de temperatura média de 2019, 2020 e simulada, referente aos painéis 1 e 2, após a instalação de portas e reguladores.

Com a instalação do regulador e portas, foi comparado as paradas das frentes de lavra no período de abril a junho de 2019 e 2020. É demonstrado o efeito positivo na instalação de reguladores e portas, obtendo redução de -78% no tempo total de paradas por temperatura, conforme Figura 19.



Figura 19- Comparativo do número de horas paradas de painéis de lavra, por temperatura durante o trimestre de 2019 e 2020.

Comparando--se o trimestre de abril á junho de 2019 e 2020 ocorreu uma redução

de -145 h em horas paradas por aumento de temperatura, gerando um retorno financeiro estimado de R\$ 1.164.000,00, pelo maior número de horas disponíveis a operação de lavra.

MEMÓRIA DE CÁLCULO DO RETORNO					
Descrição		Unidade	abr/20	mai/20	jun/20
Sem Iniciativa	Horas em paradas do painel	h	43	52	71
Com iniciativa	Horas em paradas do painel	h	11	16	9
Resultados Financeiros:					
Item		Unidade	abr/20	mai/20	jun/20
Sem iniciativa	Receita Total	R\$ mil	46.871	46.871	46.871
Com iniciativa	Receita Total	R\$ mil	47.157	47.196	47.425
Resultado	Δ Receita	R\$ mil	286	325	553
	Δ Custo	R\$ mil	0	0	0

Figura 20- Cálculo financeiro de retorno com redução do número de horas paradas por temperatura em painéis de lavra.

CONCLUSÃO

O indicador de performance utilização em 2019 representou o maior percentual de perdas do ROM em 79%. A análise de perdas por paradas não planejadas mostra que a ventilação de mina representou impacto 639 horas/ano na disponibilidade de horas/ utilização para a operação de lavra. Estas horas resultaram em perdas produtivas de 22.596 t de ROM, equivalendo a R\$ 5.120.000,00 de produto comercializado. Ações em curto espaço de tempo e alto impacto eram necessárias para redução de paradas na operação de lavra, minimizando desperdícios/horas de paradas a serem disponíveis.

A análise realizada da oferta e demanda da vazão de de ar para os painéis de lavra, atestou que a mina não se atentou para o desperdício de recursos, representado neste caso pela vazão de ar. Observa-se que a vazão atual disponível de 284 m³/s (já eliminada as perdas) é suficiente para atendimento aos painéis de lavra, sendo necessidade estimada de 189 m³/s.

A análise de dados relacionados ao circuito de ventilação em 2019, demonstra que o valor da vazão mínima para não ocorrer paradas por temperaturas nos painéis 1 e 2 é de 50 m³/s, e valores medidos em campo indicam uma vazão conjunta que chega a estes painéis de de 41 m³/s, tornando insuficiente a vazão de ar para estes locais, tendo como consequência parada das operações para ações corretivas de estabilização de temperatura. As perdas atuais do circuito por fugas/perdas de ar estão acima de 30 %.

A simulação com uso do software Vuma, demonstrou uma possibilidade de redistribuição da vazão de ar nos seis painéis de lavra, com uso de reguladores e portas, no qual haverá uma disponibilidade de ar em torno de 42 m³/s e 36 m³/s para os painéis 1 e 2, totalizando 78 m³/s. Os valores medidos em campo no período de abril a junho de 2020 após a instalação do regulador, foi de 38 m³/s e de 33 m³/s para os painéis de lavra 1 e 2 com vazão conjunta de 71 m³/s, significando uma aderência de 91 % entre os dados medidos em campo e simulados, é verificado também que a redistribuição de vazão de ar da mina é suficiente para atendimento aos seis painéis de lavra no que se refere a vazão mínima necessária para a operação de lavra.

Foi evidenciado um efeito positivo com a instalação dos reguladores na mina, para uma melhor redistribuição da vazão de ar e manutenção da temperatura °C admissível nas frentes de lavra, obtendo como resultado menores interrupções nas atividades de operação de lavra pelo efeito de aumento de temperatura. Com a instalação das portas e regulador de fluxo de vazão de ar, foi verificado que mantendo os parâmetros e perdas do circuito de ventilação em 2019, a temperatura média no período de abril a junho/20 foi de 29,5 e 29,6 °C, respectivamente nos painéis 1 e 2, gerando uma redução de -0,6 °C e -0,9 °C para temperatura nas frentes de lavra em relação ao mesmo trimestre de 2019 nestes dois painéis de lavra.

A temperatura dentro dos limites admissíveis durante o período de abril à junho/20, representa -78 % em horas paradas por ventilação confrontando os anos de 2019 à 2020 durante os meses de abril à maio, gerando incremento de 4.485 t de ROM, e receita estimada em R\$ 1.164.000,00, atrelada as horas disponíveis e sendo utilizadas para operação de lavra.

REFERÊNCIAS

1. Coura, J.F. (2015). Panorama da Mineração em Minas Gerais. Instituto Brasileiro De Mineração, Sindicato Nacional da Indústria Da Extração do Ferro de Metais, p.280.
2. Curi, A. (2017).Lavra de Minas. Oficina de Textos, v.1, p.19-28.
3. Werkema, C. (1995). As ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos. Fundação Christiano Ottoni, v.1, p. 22-64.
4. Ohno, T. O Sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala. Bookman, v.1, p. 23-39.
5. Massanés, M.B. (2015). Some approaches to improve the ventilation system in underground potash mines. Thesis for the Doctor, University of Catalonia, Catalonia, Spain, p.315.
6. Ministério do Trabalho e Emprego. (1978). NR15- Atividades e Operações Insalubres. Ministério do Trabalho e Emprego. Acesso disponível <<http://www.mte.gov.br/temas/segau/legislacao/normas/conteudo/nr15>>. Data de acesso: 10/02/2020.

7. Ministério do Trabalho e Emprego. (1999). NR22- Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração. Ministério do Trabalho e Emprego. Acesso disponível <<http://www.mte.gov.br/temas/segsau/legislacao/normas/conteudo/nr22>>. Data de acesso: 23/02/2021.
8. Hartman, H.L. (1982). Mine ventilation and air conditioning. Wiley Interscience, v.2, p.3-67.
9. VUMA. Software for the ventilacion of underground atmospheres - Help function. 2020.

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS LIMITES DA CAVA FINAL ÓTIMA COM BASE NA VARIAÇÃO DO PREÇO DE MERCADO DA ROCHA FOSFÁTICA

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 04/06/2021

João Antônio da Silva Neto

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais – CEFET-MG
Araxá - Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/8651981357878198>

Marcélio Prado Fontes

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais – CEFET-MG
Araxá - Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/7780607681746333>

RESUMO: A determinação dos limites da cava final ótima é um dos grandes desafios do planejamento de lavra. Diversos fatores podem influenciar significativamente estes limites, sendo o preço do bem mineral o mais importante deles. Este estudo teve por objetivo realizar uma análise de sensibilidade dos limites da cava final ótima com base na variação do preço da rocha fosfática. Um *range* de variação de 50% foi escolhido e dois cenários foram avaliados: um considerando restrições físicas de área e fundo de cava e outro sem quaisquer limitações. Os resultados mostraram que aumentos no preço provocaram aumentos na quantidade de minério e no valor presente líquido (VPL) da cava. Análises como esta permitem a criação de planos de lavra mais flexíveis e capazes de se adaptar a cenários futuros de flutuações no preço.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento de lavra.

Cava final. Análise de sensibilidade. Preço da rocha fosfática.

SENSITIVITY ANALYSIS OF THE OPTIMAL FINAL PIT LIMITS BASED ON THE VARIATION OF PHOSPHATE ROCK PRICE

ABSTRACT: Finding the optimal final pit limits is one of the great challenges of the open pit mine planning process. A myriad of factors may significantly influence these limits, with commodity price being the most relevant of them. This paper aimed to perform a sensitivity analysis of the optimal final pit limits based on phosphate rock price variation. A range of 50% was chosen and two distinct scenarios were evaluated: one with physical constraints regarding area and the bottom of the pit, and another without any restrictions whatsoever. The results showed that increases in price resulted in a higher volume of ore moved and yielded a higher net present value (NPV). Analysis such as the one performed in this paper allow for the creation of more flexible mining plans, able to adapt to future scenarios of price fluctuations.

KEYWORDS: Open pit mine planning. Final pit. Sensitivity analysis. Phosphate rock price.

1 | INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade fundamental para o progresso da sociedade moderna, fornecendo matérias-primas para diversos setores da indústria e contribuindo com a geração de riquezas e desenvolvimento socioeconômico

de diversas regiões, no Brasil e no mundo. Empreendimentos de mineração, todavia, são complexos e demandam constante avaliação de risco. Isto se dá uma vez que o valor do projeto é diretamente influenciado por inúmeras incertezas econômicas, geológicas e físicas, tais como o preço da *commodity*, custos, taxa de produção, teor, dureza e restrições ambientais (SAMIS, 2001; DESSUREAULT; KAZAKIDIS; MAYER, 2007; DEHGhani; ATAEE-POUR, 2013).

Sendo assim, o sucesso de um empreendimento de mineração está diretamente atrelado à execução de um planejamento adequado, que maximiza o retorno financeiro através da extração do minério, reduzindo-se os custos e garantindo a lucratividade do empreendimento durante sua vida útil. Um dos desafios do planejamento de uma mina a céu aberto, conforme comentam Caccetta e Hill (2003), é a definição dos limites da cava final ótima. Estes contornos definem a geometria correspondente ao volume de minério e estéril que, ao serem extraídos, maximizam o lucro do empreendimento mineral.

Para que se possa obter os contornos da cava final ótima, no entanto, é preciso que o depósito mineral esteja discretizado em um modelo de blocos tridimensionais. De acordo com Candido (2012), este modelo é a base para a utilização de ferramentas computacionais para cálculos de estimativa de reservas, planejamento e sequenciamento de lavra. Cada bloco do modelo detém parâmetros técnicos do depósito como teor, densidade e litologia, obtidos a partir de dados de sondagem, e estendidos aos demais blocos do modelo por métodos de estimativa, tais como a krigagem ordinária.

A partir destas informações geológicas e litológicas, torna-se possível calcular o valor econômico de cada bloco. Este valor representa o benefício, ou o lucro, que se espera obter com a extração e beneficiamento do conteúdo mineral presente nos blocos. Com os valores de cada bloco conhecidos, obtém-se o modelo econômico do depósito. A partir deste modelo, diversos algoritmos de otimização podem ser utilizados para a obtenção dos limites da cava final ótima, sendo a metodologia desenvolvida por Lerchs e Grossmann (LERCHS; GROSSMANN, 1965) uma das mais comumente empregadas atualmente.

Desta forma, de posse do modelo econômico, pode-se aplicar um algoritmo de otimização repetidas vezes, variando-se o preço da *commodity*, obtendo-se, assim, um agrupamento de cavas ótimas “aninhadas” (*nested pits*). Os limites da cava final são aqueles obtidos com o valor de preço mais provável, calculado com base em valores históricos ou a partir de modelos estocásticos. Para valores de preço menor, são geradas cavas menores, tendendo a migrar para as porções de maior teor e menor relação estéril/minério (REM) do depósito (HISTRULID; KUCHTA; MARTIN, 2013). Esta metodologia permite que análises de sensibilidade sejam empregadas com o intuito de se avaliar os limites da lavra, enquanto se maximiza o VPL do projeto.

2 | METODOLOGIA

2.1 Estudo de caso

Os limites da cava final ótima estão condicionados às informações econômicas de benefício de cada bloco contido no modelo econômico gerado. Este por sua vez está diretamente ligado às características geológicas do depósito, tais como teor, litologia, densidade e dureza. Além destas, os limites da cava final são função de considerações geotécnicas acerca da qualidade do maciço, bem como restrições geométricas, físicas, ambientais e hidrogeológicas.

Para a realização do presente estudo, foi utilizado o modelo geológico de blocos de um depósito mineral de rocha fosfática, localizado no estado de Minas Gerais, Brasil. Além das informações contidas no modelo de blocos, dados referentes à topografia e limites físicos de área do jazimento também foram utilizados. A Figura 1 mostra a superfície topográfica na orientação N-S (norte-sul) juntamente com o modelo de blocos do depósito, indicando apenas os blocos das litologias correspondentes ao minério. Na Figura 1 também é possível se observar a forma com a qual os teores de P_2O_5 (%) se distribuem no depósito.

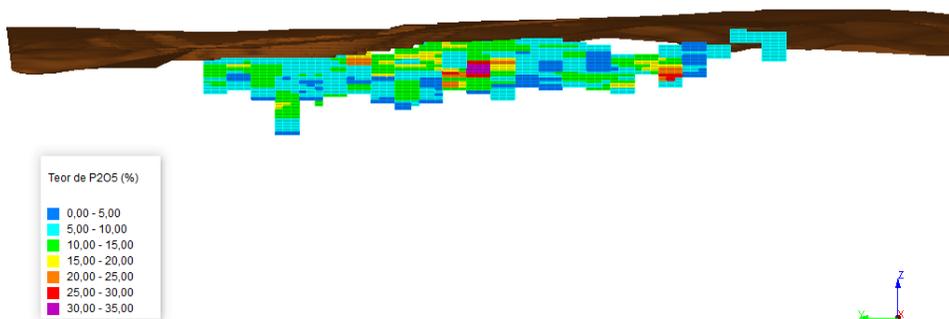


Figura 1 – Superfície topográfica e modelo de blocos ilustrando a distribuição de teores do depósito de rocha fosfática estudado.

Fonte: Autoria própria.

2.2 Histórico de Preços

O preço de mercado de um certo bem mineral é uma variável complexa, de difícil previsão, e que possui impacto significativo na lucratividade e longevidade de um empreendimento mineral. Segundo Whittle (2011), o preço de uma *commodity* pode variar consideravelmente conforme mudanças na economia, condições de mercado, desequilíbrios na oferta e procura, ciclos de investimento e influência de especuladores no mercado financeiro. Isto faz com que estudos acerca dos efeitos e implicações que variações futuras no preço possam causar ao projeto sejam de grande valia para engenheiros e gestores.

Para este estudo foi escolhido um horizonte de tempo de cinco anos para se avaliar flutuações no preço de mercado da rocha fosfática. Esta escolha se deu pelo fato de que este período representa um intervalo de tempo capaz de permitir decisões de caráter estratégico por parte do planejamento de lavra, possibilitando que ajustes sejam realizados, resultando em planos mais flexíveis e capazes de se adaptar a mudanças futuras no preço de mercado. Isto é importante uma vez que, mesmo que o preço venha sofrer variações significativas a curto prazo, mudanças nos limites da cava final, por exemplo, não podem ser realizadas em tão pouco tempo. Conforme afirma Bazante (2004), este limite deve ser definido criteriosamente, considerando que expansões ou retrações são possíveis, mas sem que isso implique gastos suplementares que inviabilizem tais alterações.

A Tabela 1 representa a variação do preço de mercado da rocha fosfática no horizonte de tempo de 2012 a 2017 (dados disponíveis até a data de realização deste estudo).

Histórico de Preço da Rocha Fosfática (US\$/t) (2012-2017)						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janeiro	195,00	182,50	97,50	119,50	122,60	96,88
Fevereiro	190,00	182,50	97,50	121,25	114,50	95,00
Março	160,00	160,00	106,60	123,00	114,50	97,50
Abril	185,00	111,50	111,50	114,13	114,13	95,63
Mai	195,00	157,50	112,63	110,50	110,50	92,50
Junho	193,13	125,63	111,40	118,90	110,50	
Julho	188,50	115,00	111,00	121,00	110,50	
Agosto	182,50	115,00	111,00	121,00	109,75	
Setembro	182,50	97,50	111,38	124,00	109,00	
Outubro	182,50	84,38	116,00	123,50	109,00	
Novembro	182,50	87,50	119,50	123,50	103,00	
Dezembro	182,50	96,88	119,50	123,50	97,50	

Tabela 1 – Variação do preço de mercado da rocha fosfática entre 2012 e 2017.

Fonte: Adaptado de Global Economic Monitoring (GEM) Commodities, World Bank Group.

Como pode-se observar, o preço de mercado da rocha fosfática variou significativamente, passando de US\$ 195,00/t em janeiro de 2012, para apenas US\$ 97,50/t em dezembro de 2016. Isto demonstra uma queda de exatos 50% no valor de venda do bem mineral, valor este que pode ser considerado significativo para a lucratividade do empreendimento de mineração.

2.3 Análise de Sensibilidade

Análises de sensibilidade são uma ferramenta simples, porém eficaz quando se deseja estudar o efeito de uma variável em um certo parâmetro de interesse. Neste estudo,

foi realizada uma análise de sensibilidade dos limites da cava final frente às variações no preço de mercado da rocha fosfática.

De acordo com os valores históricos de variação do preço no período de 2012 a 2016, foi observada uma variação no valor do preço de mercado da rocha fosfática de 50%. Sendo assim, por esta razão, optou-se neste estudo por se realizar uma análise de sensibilidade com *range* de variação de 50%. Conforme dados da Tabela 1, o valor médio do preço para o período correspondente (2012-2016) seria de US\$ 136,50/t, o qual seria o mais indicado para se realizar esta análise. Contudo, para fins de simplificação, optou-se por utilizar o valor de US\$ 100,00/t como valor base para a análise.

A análise de sensibilidade foi conduzida variando-se o valor do preço por meio de incrementos percentuais de 10%, partindo-se do valor base de US\$ 100,00/t, considerado como 100%. O preço foi então modificado até um máximo de 50%, para mais e para menos, contemplando cenários de ganhos e perdas, obtendo-se valores de 50% até 150%, correspondentes à cada cenário estudado. Os dados referentes a todos os cenários de preço avaliados estão dispostos na Tabela 2.

Análise de Sensibilidade - Preço de mercado da Rocha Fosfática		
Cavas	Preço da Rocha Fosfática (US\$/t)	Δ (%)
1	50,00	-50
2	60,00	-40
3	70,00	-30
4	80,00	-20
5	90,00	-10
6	100,00	0
7	110,00	+10
8	120,00	+20
9	130,00	+30
10	140,00	+40
11	150,00	+50

Tabela 2 – Diferentes cenários de preço avaliados por meio da análise de sensibilidade.

Fonte: Autoria própria.

2.4 Valor Econômico dos Blocos

Para a construção do modelo econômico do depósito e a consequente obtenção dos valores econômicos de cada bloco, foram considerados os seguintes custos:

- Custo de lavra do minério;
- Custo de lavra do estéril;

- Custo de beneficiamento.

Ainda com relação à obtenção do valor econômico dos blocos, foram considerados, para as duas tipologias de minério presentes no modelo, as seguintes recuperações:

- Recuperação na lavra;
- Recuperação no beneficiamento.

Os valores dos custos e recuperações utilizados na formulação da função benefício são dados confidenciais e, portanto, não podem ser divulgados neste estudo.

2.5 Parâmetros Geotécnicos

Para a definição dos limites da cava final ótima foi utilizado uma região global com ângulo de talude de 45°. A adoção deste valor trata-se de uma simplificação em relação aos parâmetros utilizados na lavra, porém não tão distantes dos que são utilizados na prática para o depósito em questão.

2.6 Otimização da Cava

As etapas de preparação dos dados e obtenção dos limites da cava final para cada cenário descrito na metodologia foram realizadas com o auxílio dos *softwares* NPV Scheduler e Studio OP, ambos da empresa Datamine.

Inicialmente, o modelo tridimensional de blocos contendo parâmetros geológicos como litologia, teor e densidade foi inserido no *software* Studio OP para aplicação de uma função benefício previamente definida. Foi nesta etapa que as modificações no valor do preço de venda foram realizadas, dando origem aos cenários propostos. É importante ressaltar que para o estudo em questão, apenas o preço de mercado da *commodity* foi alterado na função benefício, sendo que todos os demais parâmetros permaneceram constantes. Em seguida o modelo econômico gerado no Studio OP foi inserido no NPV Scheduler para obtenção dos limites da cava final. Uma taxa de desconto anual de 12% foi utilizada para obtenção do VPL de cada cava gerada. A fim de estimar a vida útil de cada cenário gerado, foi definida uma produção anual média de 3,2 milhões de toneladas (MT) de minério para todas as simulações realizadas, valor este que se aproxima dos valores de produção praticados pelo empreendimento.

2.7 Restrições Físicas

O presente estudo foi realizado em duas situações distintas: Na primeira delas a metodologia descrita anteriormente foi empregada realizando-se uma análise de sensibilidade considerando limites de área, bem como um limite de cota para o fundo da cava. Este cenário contempla uma situação comum à realidade de muitos empreendimentos de mineração, os quais normalmente estão limitados à uma certa área concedida para a lavra. Devido à rigidez locacional inerente aos depósitos minerais, nem sempre é possível alterar estes limites com o intuito de ampliar o volume das reservas lavráveis. Em outros

casos o empreendimento se encontra próximo de áreas urbanas, áreas de interesse da comunidade ou áreas de preservação ambiental. Nestas situações a expansão dos limites de propriedade dificilmente é possível.

A segunda situação refere-se a um cenário sem quaisquer limitações físicas de área e de cota para o fundo da cava, para a obtenção dos contornos da cava final que levem à maximização do valor do empreendimento. Este cenário representa uma realidade possível, porém mais difícil de ser observada em empreendimentos de mineração. Exceções a este caso podem ser encontradas, por exemplo, em situações em que duas empresas de mineração possuem áreas adjacentes, permitindo que os limites de propriedade sejam alterados mediante acordo entre ambas as partes.

Assim, foram geradas 11 cavas para cada cenário, totalizando 22 cavas finais ótimas. A Figura 2 ilustra um fluxograma da metodologia adotada neste estudo.

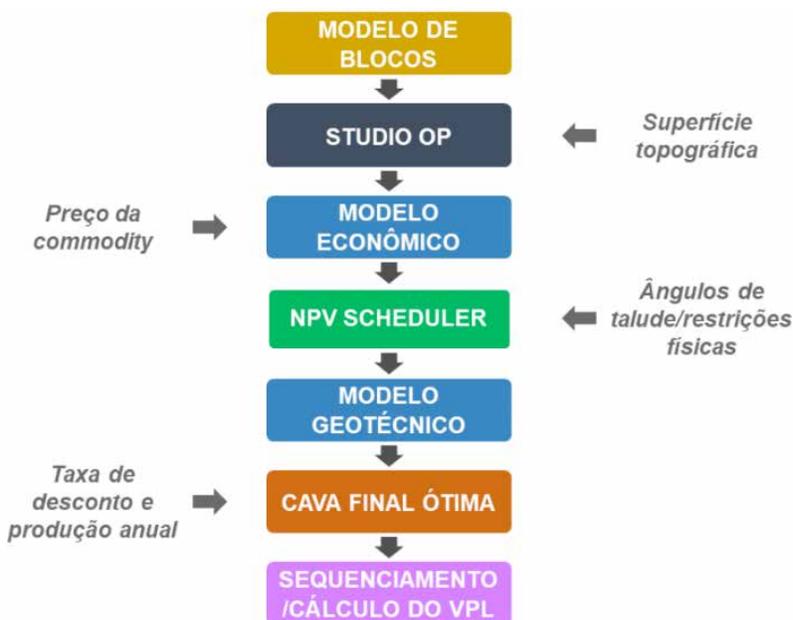


Figura 2 – Fluxograma representativo das etapas da metodologia empregada neste estudo.

Fonte: Autoria própria.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise de Sensibilidade com Limite Físico

A partir dos cenários de preço apresentados na Tabela 2 e seguindo a metodologia apresentada na Figura 2, foram geradas as 11 cavas referentes à análise de sensibilidade considerando-se os limites físicos de área e de fundo de cava. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para cada cenário de preço, indicando os valores das massas de minério

e estéril para cada cava, bem como o seu respectivo VPL. Os valores da massa de minério e estéril foram obtidos multiplicando-se o volume encontrado por um valor de densidade igual a 2 t/m³, adotado como padrão para ambos os materiais.

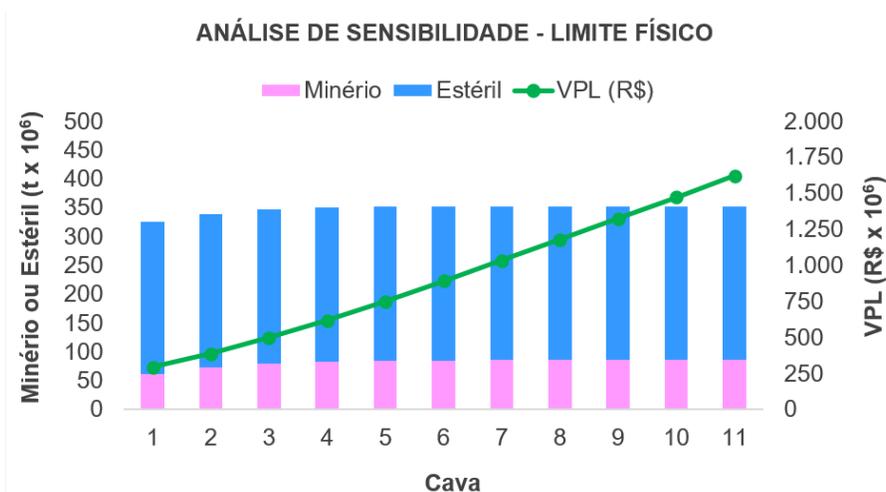


Figura 3 – Análise de sensibilidade realizada para o cenário com limites físicos para a cava.

Fonte: Autoria própria.

Analisando-se a Figura 3 pode-se observar que a cava 1, a qual corresponde ao valor de preço mais baixo, é a que apresenta menor quantidade de minério. Este comportamento era esperado uma vez que, para valores de preço menores, alguns blocos com teores mais baixos podem adquirir benefício negativo, mesmo estando acima do teor de corte. Isto faz com que estes blocos, que deveriam ser considerados como minério, passem a ser tidos como estéril, uma vez que não são mais economicamente viáveis. Isto resulta em uma diminuição das reservas lavráveis reduzindo, conseqüentemente, os limites da cava final e a quantidade de minério presente na mesma.

Ao contrário do que se esperava, ao se aumentar o preço para além do valor base, não foram observados aumentos significativos na quantidade de minério e estéril, indicando que os limites da cava final praticamente não se expandiram. Para efeito de comparação, a cava 11, gerada com o valor de preço mais alto, apresentou um aumento de apenas 0,6% na massa de minério em relação à cava 6, gerada a partir do valor base do preço de mercado. Em contrapartida, ao se realizar esta mesma comparação, agora em relação à cava 1 (menor preço), houve uma redução de aproximadamente 27,8% na massa de minério.

A justificativa mais provável que explica este comportamento se deve ao fato de que, para a cava gerada a partir do valor base (cava 6), os limites da cava final já estavam muito próximos dos limites impostos pelas restrições físicas de área e cota do fundo de cava.

Sendo assim, mesmo aumentando o preço, os contornos finais da cava pouco mudaram. Pode-se perceber também que, a partir da cava 8 não são observados aumentos, mesmo que pequenos, nas massas de minério e estéril, indicando que deste ponto em diante a cava final não pôde mais sofrer expansões, estando restrita aos limites físicos impostos nas condições de contorno da análise realizada.

Os valores da massa de estéril também pouco se alteraram ao longo dos diferentes cenários avaliados. A possível explicação para este comportamento é semelhante àquela aplicada para a massa de minério, com a diferença de que mesmo para a menor cava (cava 1), a massa de estéril permaneceu relativamente constante. Isto indica que, apesar dos limites da cava terem se retraído, a quantidade de estéril aumentou praticamente na mesma proporção, devido à redução no preço de mercado, resultando em uma variação de aproximadamente 1% entre a cava 1 e a cava 6, correspondente ao valor de preço base.

No que diz respeito ao critério econômico, representado pelo VPL das cavas geradas, o comportamento observado na Figura 3 se mostrou dentro daquilo que era esperado. Para valores mais altos de preço, obteve-se um VPL maior sendo que, o maior valor de VPL encontrado coincidiu com o cenário de maior preço da rocha fosfática. Isto demonstra que, independentemente dos contornos da cava, o preço possui grande influência na lucratividade do empreendimento. Comparando-se a cava 6 com a cava 1, foi observada uma diminuição no VPL da ordem de 66,9%. Em contrapartida, ao se comparar o VPL encontrado para o cenário da cava 11 com o valor base, observou-se um aumento de aproximadamente 82,1%.

A Tabela 3 apresenta os valores de teor médio de P_2O_5 da cava, REM e vida útil do empreendimento para os diferentes cenários de preço estudados.

Análise de Sensibilidade - Limite Físico				
Cava	Preço (US\$/t)	P_2O_5 (%)	REM (t/t)	Vida Útil (anos)
1	50,00	13,09	4,30	19,20
2	60,00	12,43	3,66	22,71
3	70,00	12,03	3,38	24,72
4	80,00	11,80	3,24	25,87
5	90,00	11,70	3,17	26,34
6	100,00	11,64	3,14	26,58
7	110,00	11,61	3,12	26,71
8	120,00	11,60	3,12	26,75
9	130,00	11,60	3,12	26,75
10	140,00	11,60	3,12	26,75
11	150,00	11,60	3,12	26,75

Tabela 3 – Teor médio de P_2O_5 , REM e vida útil para as cavas geradas com limite físico.

Fonte: Autoria própria.

Conforme mostra a Tabela 3, os valores de teor médio de P_2O_5 da cava são maiores para cenários onde o preço é menor. A possível explicação para que isto tenha ocorrido está no fato de que, para preços mais baixos, a lavra tende a migrar para regiões mais ricas do depósito. Neste caso, apenas blocos com teores mais elevados são economicamente viáveis, elevando-se assim o teor médio dos blocos de minério da cava final. Esta tendência também faz com que a quantidade de blocos de minério seja reduzida em comparação com os blocos de estéril, uma vez que apenas blocos com teores mais altos tem benefício positivo e, portanto, são considerados como minério. Como resultado, a REM torna-se maior.

Com relação à vida útil do empreendimento, sabe-se que para valores de preço mais baixos, a cava é conseqüentemente menor. No entanto, para preços mais altos os limites da cava se expandem, aumentando as reservas lavráveis. Assumindo uma taxa de produção constante ao longo dos anos, assim como foi feito neste trabalho, a vida útil do empreendimento tende a aumentar à medida que o preço aumenta, assim como mostra a Tabela 3.

3.2 Análise de Sensibilidade sem Limite Físico

Assim como foi feito para o cenário no qual restrições físicas se faziam presentes, foram geradas novamente 11 cavas, agora sem quaisquer restrições de área e cota para o fundo de cava. A Figura 4 ilustra os resultados obtidos para os diferentes cenários de preço, indicando os valores das massas de minério e estéril para cada cava, além do seu respectivo VPL.

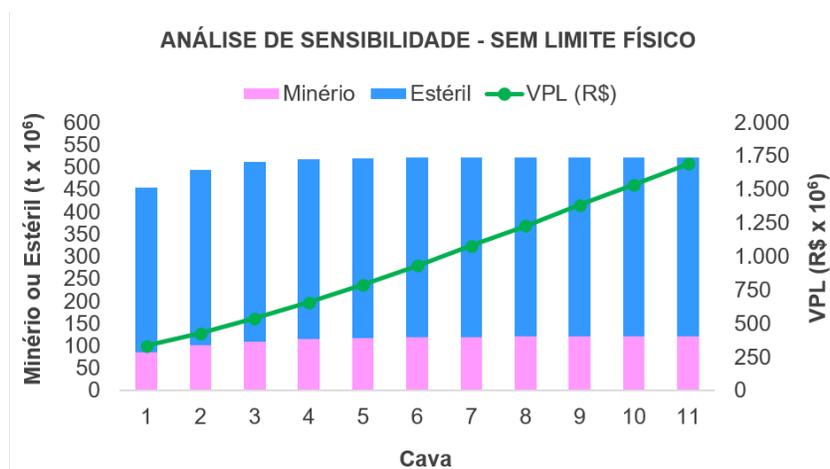


Figura 4 – Análise de sensibilidade realizada para o cenário sem limites físicos para a cava.

Fonte: Autoria própria.

Analisando-se a Figura 4, pode-se observar que esta é bastante semelhante à Figura 3, correspondente ao cenário com restrições físicas. Contudo, é possível notar algumas diferenças entre ambas. A principal delas diz respeito aos valores de massa de estéril e minério, que são maiores se comparados ao cenário onde restrições físicas haviam sido impostas. Com a ausência destas restrições, as cavas geradas são maiores e mais profundas, portanto, possuem quantidades maiores de material estéril e minério.

A tendência observada para os valores de massa de minério e estéril, no entanto, permaneceu a mesma. A única diferença neste caso é que os valores permaneceram constantes após a cava 8 provavelmente devido à exaustão das reservas lavráveis, e não devido às restrições físicas impostas. Comparando-se a cava 6 com a cava 1, foi observada uma redução de 28,1% na massa de minério. Por outro lado, ao se realizar a mesma comparação, agora para a cava 11, obteve-se um aumento de aproximadamente 0,7% apenas. Isto indica que as cavas geradas com valores de preço maiores que o valor base praticamente não sofreram alterações na quantidade de minério contido nas mesmas. O mesmo raciocínio também vale para os valores de massa de estéril, onde a variação entre o valor base e o maior valor de preço foi negligente, sendo da ordem de apenas 0,1%.

Do ponto de vista econômico, o VPL seguiu a mesma tendência observada no cenário com restrições físicas. O cenário sem restrições, no entanto, apresentou valores de VPL em média 6,3% maiores. Como não existiam impedimentos atribuídos nas condições de contorno, o algoritmo de otimização foi capaz de buscar os contornos que levariam a maior lucratividade do empreendimento, explicando o motivo dos valores de VPL para este cenário terem sido maiores.

Por último, a Tabela 4 apresenta os valores de teor médio de P_2O_5 da cava, REM e vida útil do empreendimento para os cenários de preço estudados sem restrições físicas. Analisando-se a mesma pode-se perceber que os valores apresentados e o seu comportamento são semelhantes aos observados na Tabela 3, referente ao cenário onde existiam restrições físicas. Os valores de vida útil do empreendimento, no entanto, se mostraram maiores. Devido à ausência de restrições físicas, as cavas obtidas neste cenário foram maiores e mais profundas, contendo uma quantidade maior de minério. Assim, assumindo-se novamente uma taxa de produção anual constante, a vida útil do empreendimento também tende a ser maior.

Análise de Sensibilidade - Sem Limite Físico				
Cava	Preço (US\$)	% P ₂ O ₅	REM (t/t)	Vida Útil (anos)
1	50,00	13,38	4,29	26,84
2	60,00	12,65	3,89	31,57
3	70,00	12,22	3,65	34,39
4	80,00	11,96	3,48	36,12
5	90,00	11,84	3,40	36,88
6	100,00	11,77	3,37	37,32
7	110,00	11,74	3,35	37,52
8	120,00	11,73	3,34	37,57
9	130,00	11,73	3,34	37,57
10	140,00	11,73	3,34	37,57
11	150,00	11,73	3,34	37,57

Tabela 4 – Teor médio de P₂O₅, REM e vida útil para as cavas geradas sem limite físico.

Fonte: Autoria própria.

4 | CONCLUSÕES

A definição dos limites da cava final é um dos grandes desafios do planejamento de uma mina a céu aberto. Vários fatores podem influenciar significativamente estes limites, sendo o preço de mercado do bem mineral talvez o mais relevante deles. Diante disto, análises de sensibilidade são uma ferramenta importante na tentativa de se antecipar os efeitos que variações no preço podem causar nos contornos da cava final ótima.

Para as cavas geradas considerando-se restrições físicas, foi observado um aumento do ganho econômico expresso pelo VPL, contudo, aumentos no preço para além do valor base não resultaram em maiores expansões dos limites da cava. Tal fato ocorreu pois o contorno da cava final para o valor base se encontrava próximo das restrições físicas impostas.

Com relação ao cenário sem limitações físicas, observou-se que tanto o VPL quanto as quantidades de minério e estéril aumentaram, até atingir um valor máximo estabelecido pelas próprias condições do modelo geológico de blocos, caracterizado pela exaustão das reservas lavráveis. Desta forma, aumentos no preço para além deste ponto não resultaram em mudanças no volume de minério e estéril.

A realização da análise de sensibilidade sem restrições físicas também serviu para se conhecer os verdadeiros limites da cava final, uma vez que nenhuma limitação de área ou cota foi imposta na busca dos contornos ótimos.

REFERÊNCIAS

BAZANTE, A. J. **A Interação Entre o Planejamento e Controle de Qualidade na Maximização da Função Benefício de um Empreendimento Mineral**. 2004. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CACETTA, L.; HILL, S. P. **An Application of Branch and Cut to Open Pit Mine Scheduling**. Journal of Global Optimization, v. 27, n. 2, p. 349-365, nov. 2003.

CANDIDO, M. T. **Impacto de Diferentes Algoritmos e Geometria de Depósitos Minerais no Planejamento de Longo Prazo**. 2012. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

DEGHANI, H.; ATAEE-POUR, M. **Determination of the effect of economic uncertainties on mining project evaluation using real option valuation**. International Journal of Mining and Mineral Engineering, v. 4, n. 4, p. 265-277, 2013.

DESSUREAULT, S.; KAZAKIDIS, V. N.; MAYER, Z. **Flexibility Valuation in Operating Mine Decisions Using Real Options Pricing**. International Journal of Risk Assessment and Management, v. 7, n. 5, p. 656-674, 2007.

Global Economic Monitoring (GEM) Commodities, World Bank Group. Disponível em: <http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?source=globaleconomicmonitorcommodities>. Acesso em: 05 jun. 2017.

HUSTRULID, W.; KUČHTA, M.; MARTIN, R. K. **Open Pit Mine Planning & Design**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2013. 1308 p.

LERCHS, H.; GROSSMANN, I. F. **Optimum Design of Open-Pit Mines**. In: Canadian Mining and Metallurgical Bulletin, 68., 1965, Montreal. **Anais [...]**. Montreal, 1965. p. 17-24.

SAMIS, M. 2001. **Valuing a Multi-Zone Mine as a Real Asset Portfolio – A Modern Asset Pricing (Real Options) Approach**. In: Annual International Conference on Real Options – Theory Meets Practice, 5., 2001, Los Angeles. **Anais [...]**. Los Angeles, 2001.

WHITTLE, D. Open-Pit Planning and Design. In: DARLING, P. **SME Mining Engineering Handbook**. 3. ed. Littleton: Society of Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., 2011. p. 877-902.

USO DA TECNOLOGIA DE MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA AEROESPACIAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 28/05/2021

Allisson Régis dos Santos Maia

Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), Instituto de Aeronáutica e Espaço - IAE, Divisão de Eletrônica São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/8851733450957458>

Maria Elizete Kunkel

Instituto de Ciência e Tecnologia ICT, Universidade Federal de São Paulo UNIFESP São José dos Campos – SP
<http://lattes.cnpq.br/8083413188703004>

RESUMO: As condições ambientais às quais são submetidos os equipamentos embarcados nos foguetes são severas e, ainda assim, a massa desses equipamentos deve ser a menor possível. A manufatura aditiva pode ser utilizada para contornar este problema. Existe uma preocupação do setor aeroespacial em desenvolver, qualificar e certificar somente processos de manufatura aditiva que utilizam ligas metálicas. A indústria aeroespacial, que requer componentes mais resistentes, leves e duráveis tem utilizado a manufatura aditiva para prototipagem, ensaios e produção de peças finais. O uso da manufatura aditiva pelo setor aeroespacial já corresponde a 12,3% das aplicações mundiais de manufatura aditiva. Nessa pesquisa, uma revisão sistemática da literatura (RSL) foi realizada para indicar os processos e materiais utilizados atualmente pela

tecnologia de manufatura aditiva na indústria aeroespacial.

PALAVRAS-CHAVE: Manufatura aditiva, indústria aeroespacial, processos, revisão sistemática da literatura.

ABSTRACT: The environmental conditions to which the equipment shipped in the rockets are subjected are severe and, even so, the mass of this equipment must be as low as possible. Additive manufacturing can be used to work around this problem. There is a concern in the aerospace sector to develop, qualify and certify only additive manufacturing processes that use metallic alloys. The aerospace industry, which requires stronger, lighter and more durable components, has used additive manufacturing for prototyping, testing and production of final parts. The use of additive manufacturing by the aerospace sector corresponds to 12.3% of the global applications of additive manufacturing. In this research, a systematic literature review (SLR) was carried out to indicate the processes and materials currently used by additive manufacturing technology in the aerospace industry.

KEYWORDS: Additive manufacturing, aerospace industry, processes, systematic literature review.

1 | INTRODUÇÃO

A indústria aeroespacial produz itens de uso aeronáutico (aviões, drones etc.) ou espaciais (foguetes, satélites etc.) embarcados, como equipamentos eletrônicos, radares, vasos de pressão etc., ou veículos em si como aviões

e foguetes. A manufatura desses itens é realizada por processos tradicionais de manufatura subtrativa, denominados usinagem (DIN8580), tipicamente utilizando alumínio, ligas de titânio, aço inoxidável, aços de alta resistência etc. Um dos problemas dos processos de manufatura tradicional é que, de modo geral, o custo de manufatura é elevado e demorado, especialmente para produção de pequenas quantidades. Em caso de erro de projeto, o retrabalho ou manufatura de outro exemplar demandará mais tempo e incorrerá em custos elevados para que o produto esteja disponível, principalmente em decorrência dos custos fixos de preparação para usinagem, como os ajustes iniciais da máquina, troca de ferramentas etc.

A tecnologia de manufatura aditiva ou impressão 3D define uma série de processos de adição de material em camadas para a obtenção de um objeto real que foi previamente modelado em 3D em um computador (Rashid, 2019). A manufatura aditiva permite também a criação de protótipos em escala real, que podem auxiliar na avaliação prévia do produto a ser fabricado pela manufatura tradicional. A disponibilidade de ferramentas de projeto assistido por computador (**Computer Aided Design**, CAD; **Computer Aided Engineering**, CAE; e **Computer Aided Manufacturing**, CAM) tem reduzido significativamente, porém ainda não consegue eliminar, a ocorrência de erros de projeto que consomem recursos financeiros e tempo para correção. Softwares de simulação CAE permitem estimar a quantidade de material que será utilizada e determinar as regiões da peça em que pode haver remoção de material sem prejuízo à sua integridade estrutural. Em alguns casos, é possível obter por manufatura aditiva, estruturas complexas, com geometrias complicadas ou até mesmo impossíveis de serem produzidas utilizando a manufatura tradicional.

Diversos processos de manufatura aditiva estão disponíveis, cada qual com suas características próprias. Os processos mais relevantes são *Stereolithography* (SLA), que utiliza resina fotossensível endurecida por feixes de luz ultravioleta; *Fused Deposition Modeling* (FDM) que funde material polimérico; o *Selective Laser Sintering* (SLS) que sinteriza polímeros, metais ou uma combinação destes em pó, utilizando um feixe de laser; *Selective Laser Melting* (SLM) que consiste na fusão de metais em pó utilizando laser de alta potência; *Electron Beam Melting* (EBM) e *Electron Beam Additive Manufacturing* (EBAM), aplicados somente para ligas metálicas que são fundidas utilizando corrente elétrica. Entretanto, o processo que mais se destaca em disponibilidade para os usuários com menor poder aquisitivo é o FDM, cujos equipamentos e materiais estão cada vez mais acessíveis (Kunkel et al., 2020).

A manufatura aditiva permite a produção de itens mais leves que aqueles obtidos por meio da manufatura tradicional, pois o produto final não precisa ser maciço, o que apresenta vantagens no aspecto de redução de peso. Entretanto, faz-se necessário investigar se a resistência mecânica do produto acabado é suficiente para resistir aos esforços esperados durante o voo suborbital.

A indústria aeroespacial, que requer componentes mais resistentes, leves e duráveis

tem utilizado a manufatura aditiva para prototipagem, ensaios e produção de peças finais. O uso dessa área corresponde a 12,3% das aplicações mundiais de manufatura aditiva. Kumar e Nair (2017) discorrem sobre as tendências do uso da manufatura aditiva como uma revolução na indústria aeroespacial pela possibilidade de produção de peças complexas, leves e com menos desperdício de matérias-primas que possuem custo elevado. Além disso a tecnologia pode ser utilizada para manufatura de componentes complexos como bicos injetores de turbinas aeronáuticas (GE Additive, 2018).

Liu et al. (2021) identificaram aplicações na área espacial, principalmente em itens cuja manufatura foi efetuada utilizando-se processos de manufatura aditiva que utilizam metais como matéria-prima. A substituição dos processos tradicionais por processos de manufatura aditiva possibilitou a redução de prazos de entrega e custos, reduzindo a quantidade de partes necessárias para montar componentes de motores de foguetes, resultando em maior confiabilidade e melhor a estabilidade devido à redução de massa.

Nessa pesquisa, uma revisão sistemática da literatura (RSL) foi realizada para fornecer um levantamento sobre uso da tecnologia de manufatura aditiva na indústria aeroespacial identificando quais processos e materiais de manufatura aditiva têm sido aplicados.

2 | METODOLOGIA

Um protocolo foi criado para a realização da RSL com a definição dos objetivos, questões de pesquisa, palavras-chave, critério de busca, tipos de documentos a serem considerados, lista de bibliotecas digitais e critérios de inclusão e exclusão. Os objetivos da RSL foram verificar se há aplicação de processos de manufatura aditiva em itens instalados a bordo de veículos aeroespaciais e identificar nesses casos quais são os processos e materiais utilizados. Três perguntas de pesquisa foram definidas na Tabela 1.

Questão	Descrição
Q.01	Quais são os processos de manufatura aditiva e materiais utilizados na indústria aeroespacial?
Q.02	Existe algum produto embarcado produzido pelo processo de Modelamento por Fusão e Deposição (FDM) em uso na indústria aeroespacial?
Q.03	Quais são os materiais utilizados na fabricação de peças pelo processo Modelamento por Fusão e Deposição em sistemas aeroespaciais?

Tabela 1 - Questões de pesquisa da RSL sobre uso da tecnologia de manufatura aditiva na indústria aeroespacial.

As palavras-chave de pesquisa utilizadas no idioma inglês foram: *Rocket* (K.01), *Launcher* (K.02), *Aerospace* (K.03) e *Additive Manufacturing* (K04). As bibliotecas digitais

selecionadas foram a *IEEE Xplore* em função do objeto sob estudo compor um equipamento eletrônico, *Science Direct*, pela abrangência do conteúdo e *Advanced Technologies & Aerospace Database*, que trata de assuntos relacionados à área aeroespacial.

Os termos de pesquisa, ou *strings* de busca, foram definidos, experimentados e refinados para obtenção de material suficiente em língua inglesa para possibilitar a análise. Apenas artigos no idioma inglês foram analisados. O critério de busca identificado por SS1 foi: *((“Additive Manufacturing” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Launcher”))*. Os resultados desta seqüência incluem todos os processos de manufatura aditiva e possibilitaram a obtenção de uma visão geral e a verificação quanto à existência de alguma iniciativa com o uso do processo FDM na indústria espacial.

A partir das buscas iniciais na literatura verificou-se que o processo de manufatura aditiva também é conhecido por *3D Printing* e o termo *Additive Manufacture*, apesar de incorreto, também foi encontrado. Assim, critérios de busca adicionais foram propostos, além do critério SS1 já descrito, de modo a incluir todos os resultados disponíveis nas plataformas selecionadas relacionados aos objetivos desta pesquisa. Desta forma, foram utilizados quatro critérios de busca (Tabela 2):

Código	Strings
SS1	<i>((“Additive Manufacturing” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Launcher”))</i> .
SS2	<i>((“Additive Manufacturing” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Launcher”))</i>
SS3	<i>((“3D Printing” AND “Rocket”) OR (“3D Printing” AND “Aerospace”) OR (“3D Printing” AND “Launcher”))</i>
SS4	<i>((“Additive Manufacture” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacture” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacture” AND “Launcher”))</i>

Tabela 2 - *Strings* de busca utilizados na RSL sobre uso da tecnologia de manufatura aditiva na indústria aeroespacial.

De forma a verificar se já havia uma RSL publicada sobre o tema, para referência ou comparação, foi proposto e testado nas bibliotecas digitais selecionadas o critério de busca: *“additive manufacturing” AND aerospace AND “literature review”*. Essa busca retornou os resultados listados na Tabela 3, entretanto, nenhuma das publicações encontradas era uma RSL envolvendo processos de manufatura aditiva na área aeroespacial.

Base de dados de pesquisa	Resultados da busca
IEEE Xplore	0
Science Direct	207
Advanced Technologies & Aerospace Database	5

Tabela 3 - Busca por outras RSL sobre uso da manufatura aditiva na indústria aeroespacial.

Os critérios de inclusão da RSL foram: artigos científicos publicados entre 2008 e 2018 (IC.01), artigos de pesquisa citando o processo FDM (IC.02), artigos de pesquisa aplicada na indústria aeroespacial (IC.03) e artigos abordando o processo FDM em peças acabadas (IC.04) (Tabela 4). Os critérios de exclusão foram artigos de aplicação em área que não seja um produto aeroespacial (EC.01) e artigos sobre material de construção e/ou processo de manufatura não especificado (EC.02), (Tabela 4).

Código	Descrição
IC.01	Artigos científicos publicados entre 2008 e 2018
IC.02	Artigos de pesquisa utilizando o processo FDM
IC.03	Artigos de pesquisa aplicada na indústria aeroespacial
IC.04	Artigos abordando o processo Manufatura por Fusão e Deposição utilizado em peças acabadas
EC.01	Artigos de aplicação fora da área aeroespacial ou que não seja um produto
EC.02	Artigos sobre matéria-prima e/ou processos de manufatura não especificados

Tabela 4 - Critérios de inclusão e exclusão da RSL sobre uso da manufatura aditiva na indústria aeroespacial.

A estratégia de seleção adotada foi dividida em duas partes, (S.01) leitura do título e resumo do artigo para a primeira seleção e (S.02) leitura completa do conteúdo do artigo, observando todos os critérios da Tabela 3.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após submissão dos quatro critérios de busca às três bibliotecas digitais, as pesquisas automáticas retornaram 3.972 artigos. A maioria dos artigos foram encontrados na base de dados *Science Direct*, cuja pesquisa automática descartou a estrutura original dos critérios de busca e retornou todos os artigos contendo uma das palavras-chave ou uma combinação aleatória delas. Por isso, foi necessário filtrar previamente os artigos

por título e resumo que resultou em 54 publicações iniciais (Tabela 5) a serem avaliadas seguindo o protocolo da Tabela 4.

	SS1	SS2	SS3	SS4
IEEE	90	3	5	3
Science Direct	23	13	9	9
Aerospace Database	263	37	23	1
Total	376	53	37	13

SS1: (“Additive Manufacturing” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Launcher”); **SS2:** (“Additive Manufacturing” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacturing” AND “Launcher”); **SS3:** (“3D Printing” AND “Rocket”) OR (“3D Printing” AND “Aerospace”) OR (“3D Printing” AND “Launcher”); **SS4:** (“Additive Manufacture” AND “Rocket”) OR (“Additive Manufacture” AND “Aerospace”) OR (“Additive Manufacture” AND “Launcher”).

Tabela 5 - Resultados de busca de artigos segundo as *strings* de busca utilizadas.

Após o processamento inicial, foram avaliados os artigos encontrados em todas as bibliotecas digitais selecionadas em relação à aplicação final, Aeroespacial, Espacial, Aeronáutica ou nenhuma delas. A próxima etapa foi a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão (Tabela 4) e a eliminação dos artigos duplicados nos resultados de pesquisa dentro de cada banco de dados. Após a eliminação dos artigos não relacionados à área aeroespacial e dos resultados duplicados, todos os artigos restantes foram reunidos para análise. Alguns artigos duplicados de diferentes bibliotecas digitais foram removidos da seleção final (Figura 1). Antes de submeter os demais artigos aos critérios de inclusão e exclusão, os resultados relativos à data, área de uso, e processo de manufatura aditiva utilizados foram utilizados para traçar uma visão geral do uso da manufatura aditiva na indústria aeroespacial, para verificar se há alguma aplicação desses processos em itens embarcados em veículos aeroespaciais e quais processos e materiais mais utilizados pela indústria aeroespacial.



Figura 1 - Artigos encontrados nas bases de dados selecionadas para a RSL.

Na Figura 2 é possível identificar as áreas de aplicação da manufatura aditiva. Como essa seleção ainda não havia sido submetida aos critérios de exclusão, o resultado inclui artigos não aplicáveis ao objetivo da pesquisa, mas apresenta o perfil típico de aplicações envolvendo manufatura aditiva nas áreas de pesquisa sob avaliação. A seguir são respondidas as três questões de pesquisa.

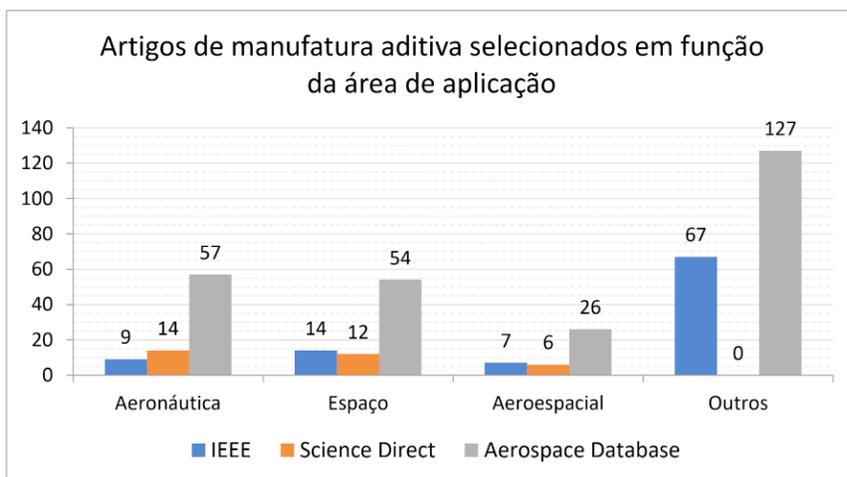


Figura 2 - Resultados de busca de artigos em 3 bases de dados em função da área de aplicação da manufatura aditiva.

Q.01 Quais são os processos de manufatura aditiva e materiais utilizados na indústria aeroespacial?

ARSL realizada revelou a existência de pesquisas na produção, inspeção e certificação de peças produzidas por processos de manufatura aditiva na indústria aeroespacial. Como os itens produzidos por manufatura aditiva dependem de vários parâmetros do processo adotado, é necessário a realização de testes, inspeção e certificação da mesma forma aplicada atualmente nos processos convencionais de fundição, metalurgia em pó e soldagem (O'Brien, 2018). Apesar dos desafios de adotar a manufatura aditiva na fabricação de hardware de voo na indústria aeroespacial, é possível identificar alguns produtos que estão utilizando essa tecnologia e que houve um pico de publicações na área nos últimos anos, com destaque para 2015 (Figura. 3).

A maioria dos produtos produzidos por manufatura aditiva que estão em uso ou em fase de desenvolvimento na área de aeroespacial utilizaram os processos SLS, EBM (Rawal et al., 2013), e SLM (Ellis e Hosea, 2016; Guo et al., 2019) tendo como matéria-prima de ligas de titânio. Ainda que seja menos frequente, também foram encontrados alguns itens produzidos pelo processo SLA com uso de resina fotossensível (Sorrentino et al., 2017) e pelo processo FDM utilizando o material Ultem 9085 (Poly(EtherImida) - PEI). Esse é um termoplástico de alto desempenho retardador de chamas para fabricação digital direta e manufatura aditiva de alta relação resistência e peso (Masood, 2014; NASA Tech Briefs, 2015; Sobon, 2018). Também foram identificados estudos com o processo SLM utilizando o material PEEK (Poly(Ether-Ether-Ketone)), um termoplástico semicristalino de alto desempenho (Korn, 2011; Dietz et al., 2018).

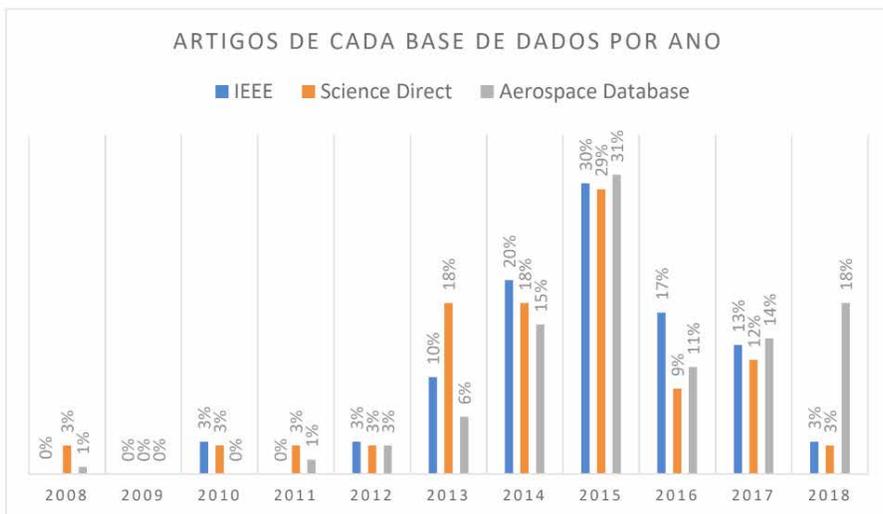


Figura. 3 - Evolução anual do número de artigos relacionadas ao uso de processos de manufatura aditiva em cada uma das bases de dados pesquisadas.

Os processos de manufatura aditiva que usam materiais poliméricos como matéria prima são mais empregados para manufaturar itens passivos que não se movimentam ou que contenham itens eletrônicos ou eletromecânicos em sua composição. Por exemplo, dutos de ar dentro da carenagem do foguete Atlas V produzidos em Ultem 9085 pelo processo FDM (Schiller, 2015). Além disso, peças à base de polímero têm sido desenvolvidas para estruturas de CubeSats, uma classe de nanosatélites de 1 a 10kg com formato e dimensões padronizadas (Gaudenzi et al., 2018) e peças de plástico revestidas de ligas metálicas têm sido utilizadas em componentes antenas de satélite (Bhowmik et al., 2014). Aplicações para peças manufaturadas aditivamente usando ligas metálicas foram encontradas em aplicações aeronáuticas e espaciais como peças de motores de foguetes (R. Clinton et al., 2018), em injetores de motores a jato e peças estruturais de aeronaves (Nickels, 2015), peças estruturais de satélite (Allevi et al., 2018), vasos de pressão e outros (Brookes, 2015).

A RSL mostrou um aumento no uso da manufatura aditiva na indústria aeroespacial entre 2013 e 2018 com uma evolução na capacidade dos processos para entregar produtos acabados e confiáveis, capazes de suportar as cargas mecânicas encontradas em sistemas aeroespaciais. Uma redução no número de publicações foi observada a partir de 2016 na base de dados *Aerospace Database*. Isso pode ser resultado do fato de as aplicações estarem se tornando produtos em um setor onde é comum o sigilo no desenvolvimento de projetos.

Várias empresas ao redor do mundo trabalham para alcançar o objetivo de implementação da tecnologia de manufatura aditiva com sucesso como a *General Electric*, *Aerojet Rocketdyne*, *Thales Alenia* e *Lockheed Martin*. Mesmo que os processos de manufatura aditiva ainda não sejam capazes produzir todos os tipos de itens prontos para voo, a associação de processos de manufatura aditiva e usinagem tradicional pode produzir atualmente peças acabadas com menos desperdício de matéria prima, menor consumo de energia e tempo, do que era possível antes da disponibilidade desta tecnologia. Esse tipo de solução já se encontra em desenvolvimento por parte de algumas empresas do setor, por exemplo, um suporte da dobradiça da nacele (suporte do motor) do Airbus A320 (Parker et al., 2014) (Figura 3).

Os processos de manufatura aditiva que utilizam ligas metálicas, como SLM e EBAM/EBM, são a escolha preferida na indústria aeroespacial. A evolução desses processos e materiais pode tornar possível a substituição dos processos tradicionais de fabricação em breve. A RSL indicou também que apesar dos processos de manufatura aditiva utilizando polímeros na área aeroespacial utilizarem equipamentos e materiais de alto custo, ainda assim, eles são aplicados somente a dutos de ventilação e outras partes estruturais muito simples.



Figura 3 - Projeto convencional do suporte fundido em aço (à esquerda) avaliado ambientalmente em relação ao projeto otimizado produzido em liga de titânio por manufatura aditiva (à direita).

Fonte: (Airbus Group Innovations, 2014).

Ainda que não tenha sido descrita nenhuma razão para este fato, sabe-se que, a indústria aeroespacial utiliza processos e produtos já desenvolvidos e testados e que possuam histórico para confirmar a confiabilidade de qualquer item antes de adotar qualquer nova tecnologia. Normalmente, exceções a esta abordagem ocorrem quando não há tecnologia já desenvolvida e consagrada para resolver situações que necessitam de solução imediata.

A resposta da questão de pesquisa da RSL sobre quais são os processos de manufatura aditiva e materiais utilizados na indústria aeroespacial identificou o panorama da utilização em sistemas aeroespaciais resumido na Tabela 6.

Processo	Material	Aplicação	Referência
FDM	Ultem 9085	Dutos de ar dentro da carenagem da coifa do foguete Atlas V	Schiller, 2015
	Polímero	Estruturas de CubeSats	Gaudenzi et al., 2018
	Plástico com liga metálica	Antenas de satélite	Nasa Tech Briefs, 2015
	Propelente Híbrido	Motor foguete a propelente híbrido	Mcclain et al. 2019
EBM	Liga metálica	Peças de motores de foguetes	Clinton et al., 2018
SLS	Liga metálica	Injetores de motores a jato e peças estruturais de aeronaves	Nickels, 2015 Herderick, 2015
-	Liga metálica	Suporte estrutural para satélites	Allevi et al., 2018

EBAM	Liga metálica	Vasos de pressão	Brookes, 2015
	Liga de titânio	Tanque de combustível para satélites	Grunewald, 2016 Alper, 2017

Tabela 6 - Processos de manufatura aditiva utilizados na indústria aeroespacial.

Um exemplo de aplicação do processo EBAM na indústria espacial é a produção de um tanque de combustível para satélites com uso de liga de titânio. No entanto, ao final da manufatura aditiva a peça não está pronta para uso, pois as superfícies são irregulares. Nesse caso, mesmo que o desperdício de material seja muito menor, ainda é necessário o uso da usinagem tradicional para completar a fabricação e obter a peça acabada (Figura 4).



Figura 4 - Tanque para satélites produzido pelo processo de manufatura aditiva EBAM (esquerda) e tanque após processo de usinagem (direita).

Fonte: (Grunewald, 2016).

Q.02 Existe algum produto embarcado produzido pelo processo FDM em uso pela indústria aeroespacial?

A RSL identificou o uso do processo FDM em sistemas híbridos e de propulsão sólida (McClain et al., 2019) the surface area geometry in a rocket is limited to what can be practically cast using molds, etc. Additive manufacturing (AM, e na estrutura base de CubeSats (Gaudenzi et al., 2018). Uma aplicação do processo FDM em foguetes, com matéria-prima Ultem 9085, é um tubo de ventilação de coifa que faz parte do sistema de refrigeração do satélite enquanto o foguete aguarda o lançamento (Figura 5) (Schiller, 2015).



Figura 5 - Peça do Foguete Atlas V produzida pelo processo FDM.

Fonte: (Pearson, 2020).

Q.03 Quais são os materiais utilizados na fabricação de peças pelo processo FDM aplicados em sistemas aeroespaciais?

Algumas aplicações do processo FDM na indústria Aeroespacial foram encontradas (R. G. J. Clinton, 2018; Dietz et al., 2018; Gaudenzi et al., 2018; Herderick, 2015; McClain et al., 2019; Nickels, 2015; Schiller, 2015). A crescente disponibilidade de novos materiais como o Ultem 9085 da fabricante SABIC B.V., Holanda e o PEEK, podem aumentar a participação do processo FDM neste mercado nos próximos anos com a evolução dos equipamentos, matérias-primas e com o aumento do conhecimento das propriedades mecânicas, da repetibilidade e dos testes necessários para confirmar a adequação dos itens manufaturados aos requisitos ambientais.

4 | CONCLUSÃO

A indústria aeroespacial possui uma tendência de aplicar tecnologias já consolidadas, cuja confiabilidade seja comprovada e o controle rigoroso dos processos seja dominado. Historicamente a adoção de novas tecnologias na área aeroespacial é lenta pois os produtos desta indústria devem possuir grande confiabilidade. Esta provavelmente é a justificativa para a escassez de aplicações dos processos de manufatura aditiva. Espera-se que com o amadurecimento da tecnologia, o aumento do conhecimento e a disponibilidade de novas metodologias de fabricação e verificação o uso desta tecnologia seja cada vez mais difundida na área aeroespacial.

A indústria aeroespacial está, lentamente, adotando processos de manufatura aditiva para produção de alguns itens embarcados. Dentre os processos mais utilizados no setor aeroespacial estão a SLS, a SLM e EBAM/EBM utilizando ligas metálicas. Ainda que tenha sido possível encontrar aplicações do processo FDM na indústria aeroespacial, foram poucas ocorrências e todas elas utilizam equipamentos e materiais de alto custo em peças

de baixa complexidade. A falta de ocorrências de produção de itens de uso aeroespaciais utilizando processo FDM abre a oportunidade para o desenvolvimento de pesquisas nesta área, possibilitando a difusão da tecnologia para grupos de pesquisa nacionais que não possuem acesso a equipamentos e materiais de alto custo.

REFERÊNCIAS

Airbus Group Innovations. (2014). ComposingBracket1_EADS_highres.jpg (3000x1744). In *businesswire*. <https://bit.ly/3fkeb0S>

Allevi, G., Cibeca, M., Fioretti, R., Marsili, R., et al. (2018). Qualification of additively manufactured aerospace brackets: A comparison between thermoelastic stress analysis and theoretical results. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 126(May), 252–258.

Bhowmik, L. M., Armiento, C., Akyurtlu, A., Chirravuri, J., et al. (2014). Design of printed X-band patch antenna arrays with switched line phase shifters. *IEEE, d*, 98–98.

Brookes, K. J. A. (2015). Aviation finds that extra dimension: 3D manufacturing at 2015 Paris Air Show. *Metal Powder Report*, 70(5), 239–244.

Clinton, R. G. J. (2018). Overview of Additive Manufacturing Initiatives at NASA Marshall Space Flight Center. *NASA Technical Reports Server*, 36.

Clinton, R., Prater, T., Werkheiser, N., Morgan, K., & Ledbetter, F. (2018). Materials and structures symposium (C2) advancements in materials applications and rapid prototyping (9). *Proceedings of the International Astronautical Congress, IAC*.

Dietz, A., van der Veen, E., Rauch, B., & Schliitt, R. (2018). Surface technology for polymer parts for space applications made by additive manufacturing. *IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2018-March*, 1–6.

Ellis, R., & Hosea, J. (2016). Additive manufacturing of steady-state mirrors for the KSTAR ECH launchers. *Proceedings - Symposium on Fusion Engineering, 2016-May*, 1–5.

Gaudenzi, P., Atek, S., Cardini, V., Eugeni, M., et al. (2018). Revisiting the configuration of small satellites structures in the framework of 3D Additive Manufacturing. *Acta Astronautica*, 146(February 2017), 249–258.

GE Additive. (2018). *New manufacturing milestone: 30,000 additive fuel nozzles*. <https://www.ge.com/additive/stories/new-manufacturing-milestone-30000-additive-fuel-nozzles>

Grunewald, S. J. (2016). *Lockheed Martin Credits Sciaky's EBAM Metal 3D Printing for Cost-Saving Titanium Propulsion Tank*.

Guo, J., Au, K. H., Sun, C. N., Goh, M. H., et al. (2019). Novel rotating-vibrating magnetic abrasive polishing method for double-layered internal surface finishing. *Journal of Materials Processing Technology*, 264(September 2018), 422–437.

Herderick, E. D. (2015). Progress in Additive Manufacturing. In *JOM* (Vol. 67, Issue 3, pp. 580–581). Minerals, Metals and Materials Society.

Korn, D. (2011). Aerospace Parts from Powder. *Modern Machine Shop*, 83(11), 67–72.

Kumar, L. J., & Nair, C. K. (2017). Current trends of additive manufacturing in the aerospace industry. In *Advances in 3D Printing and Additive Manufacturing Technologies* (pp. 39–54). Springer Singapore.

Kunkel, M. E., Cano, A. P. D., Ganga, T. A. F., Artioli, B. O., & Juvenal, E. A. O. (2020). Manufatura Aditiva do Tipo FDM na Engenharia Biomédica. In *Maria Elizete Kunkel. (Org.). Fundamentos e Tendências em Inovação Tecnológica: v.1* (1st ed., pp. 49–64). Kindle Direct Publishing. <https://www.researchgate.net/publication/350801302>

Liu, G., Zhang, X., Chen, X., He, Y., Cheng, L., Huo, M., Yin, J., Hao, F., Chen, S., Wang, P., Yi, S., Wan, L., Mao, Z., Chen, Z., Wang, X., Cao, Z., & Lu, J. (2021). Additive manufacturing of structural materials. *Materials Science and Engineering R: Reports*, 100596.

Masood, S. H. (2014). Advances in Fused Deposition Modeling. In *Comprehensive Materials Processing* (Vol. 10, pp. 69–91). Elsevier Ltd.

McClain, M. S., Gunduz, I. E., & Son, S. F. (2019). Additive manufacturing of ammonium perchlorate composite propellant with high solids loadings. *Proceedings of the Combustion Institute*, 37(3), 3135–3142.

NASA Tech Briefs. (2015). 3D-Printed Functional Antenna Arrays Operate on Exterior of COSMIC-2 Satellites. *NASA Tech Briefs*, 39(May), 5.

Nickels, L. (2015). AM and aerospace: An ideal combination. *Metal Powder Report*, 70(6), 300–303.

O'Brien, M. (2018). Existing standards as the framework to qualify additive manufacturing of metals. *IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2018-March*, 1–10.

Parker, M., Jordan, C., & Nehro, J. (2014). *EOS and Airbus Group Innovations Team on Aerospace Sustainability Study for Industrial 3D Printing | Business Wire*. Businesswire. <https://bwnnews.pr/3bVci8G>

Pearson, A. (2020). *Atlas V Rocket Launched Using 3D Printed Parts to Resupply the ISS | Stratays*. <https://bit.ly/3vndtFK>

Rashid, A. (2019). Additive Manufacturing Technologies. In *CIRP Encyclopedia of Production Engineering* (pp. 39–46). Springer Berlin Heidelberg.

Rawal, S., Brantley, J., & Karabudak, N. (2013). Additive manufacturing of Ti-6Al-4V alloy components for spacecraft applications. *RAST 2013 - Proceedings of 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, 5–11.

Schiller, G. J. (2015). Additive manufacturing for Aerospace. *IEEE Aerospace Conference Proceedings, 2015-June*.

Sobon, D. (2018). Application of cold sprayed coatings in aviation and automotive. *11th International Science and Technical Conference Automotive Safety, AUTOMOTIVE SAFETY 2018*, 1–4.

Sorrentino, R., Martin-Iglesias, P., Peverini, O. A., & Weller, T. M. (2017). Additive Manufacturing of Radio-Frequency Components [Scanning the Issue]. *Proceedings of the IEEE*, *105*(4), 589–592.

A IMPORTÂNCIA DOS INDICADORES NA MANUTENÇÃO

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 05/07/2021

Alexandre Fernandes Santos

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

Heraldo José Lopes de Souza

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

Marcia Cristina de Oliveira

Faculdade Profissional
Curitiba, Paraná

Sariah Torno

FAPRO - Faculdade Profissional
Curitiba, Paraná

Darlo Torno

FAPRO - Faculdade Profissional
Curitiba, Paraná

Sandro Adriano Zandoná

FAPRO – Faculdade Profissional
Curitiba, Paraná

Tiago Rodrigues Carvalho

FAPRO – Faculdade Profissional
Curitiba, Paraná

Natalia Tinti Ramos

FAPRO – Faculdade Profissional
Curitiba, Paraná

Eliandro Barbosa de Aguiar

FAPRO – Faculdade Profissional
Curitiba, Paraná

RESUMO: A manutenção é essencial em tempos de indústria 4.0, uma das revoluções deste conceito estão em criar indicadores de manutenção, esse capítulo de livro de engenharia trata da matemática da manutenção, como se mensurar confiabilidade com diagrama de blocos e como mensurar a disponibilidade, além de conceituar a taxa de falhas, confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade com alguns exemplos práticos em equipamentos de refrigeração de Datacenters.

PALAVRAS-CHAVE: Data Centers, Confiabilidade, Disponibilidade.

THE IMPORTANCE OF INDICATORS IN MAINTENANCE

ABSTRACT: Maintenance is essential in times of industry 4.0, one of the revolutions of this concept is in creating maintenance indicators, this chapter of an engineering book deals with the mathematics of maintenance, how to measure reliability with a block diagram and how to measure availability, in addition to conceptualize the failure rate, reliability, maintainability and availability with some practical examples in data center cooling equipment.

KEYWORDS: Data Centers, Reliability, Availability.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente fala-se muito sobre a importância singular da manutenção e/ou das boas práticas de manutenção nos sistema de climatização e refrigeração, no entanto, há

muitas falhas, principalmente quando se trata da mensuração dos dados destas falhas. Desde a etapa de projeto até o chão de fábrica existem erros, seja no superdimensionamento de redundância ou no subdimensionamento desta mesma redundância. O propósito deste artigo é explicar alguns conceitos da manutenção e como se mensura os resultados, como afirma Lord Kelvin: “Somente se conhece uma magnitude física quando se pode medir e expressar numericamente” (ATMOS, 2021). Entre os princípios a serem abordados encontram-se, (SINGH, 2014; MMTEC, 2021):

- **Confiabilidade:** é a probabilidade de que um item irá realizar a sua função pretendida sem “falhas” para um período de tempo determinado sob condições específicas, ou seja, em uma linguagem simplista, a confiabilidade é a qualidade no tempo. A fórmula mais usual para mensurar a confiabilidade é (Knezevic, 2018):

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

Sendo:

R= Confiabilidade;

e= exponencial 2,71...;

$-\lambda$ = taxa de falhas em falhas/h;

t= tempo em horas.

Ou seja, enquanto menor a taxa de falhas no tempo, maior será a confiabilidade.

- **Mantenabilidade:** é a probabilidade de executar uma ação bem sucedida de reparo/restauração dentro de um intervalo de tempo. A manutenabilidade também pode ser definida como o grau de facilidade para se fazer a manutenção.

Esses dois princípios se entrelaçam, visto que não adianta ter um equipamento confiável, mas com manuais de difícil compreensão, além de espaços extremamente curtos para se fazer manutenção, ou seja, tem que associar a confiabilidade ao grau de facilidade para se fazer a manutenção. Um exemplo prático disso é uma casa de máquinas pequena.

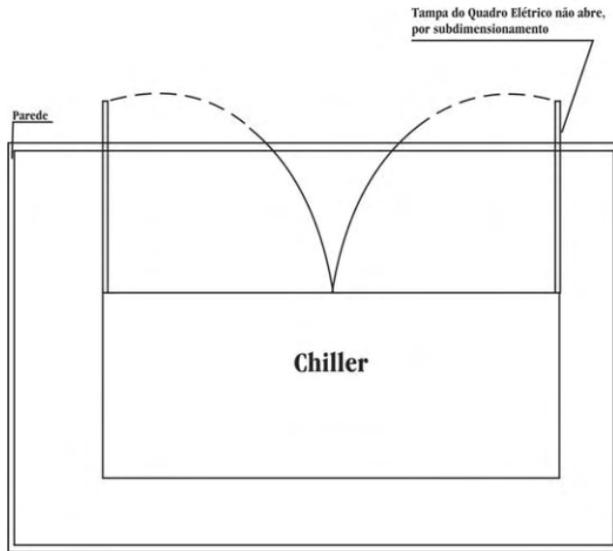


Figura 1 – Casa de máquinas.

- **Disponibilidade:** é a probabilidade do sistema estar operando corretamente quando requerido para o uso, também pode ser expressa numericamente por, (ALSGLOBAL, 2021):

$$D = \frac{TMF}{TMF + TMR}$$

Onde:

D = Disponibilidade;

TMF = Tempo médio entre falhas;

TMR = Tempo médio para reparo.

Assim como equipamentos também existe o conceito da confiabilidade humana, pois é uma ciência aplicada e de muita importância na indústria, que estuda os erros humanos e seus impactos sobre os indicadores de produção, segurança e qualidade, além de fixar estratégias para prevenir, minimizar ou até mesmo eliminar falhas, enganos, transgressões voluntárias e não voluntárias. Os erros na parte humana podem ser responsáveis por grandes partes dos acidentes ocorridos na indústria em geral, para melhorar a segurança e mitigar eventos não desejáveis, é importante que equipamentos, sistemas e operações além claro do ambiente de trabalho estejam compatíveis com as capacidades físicas, intelectuais e cognitivas dos colaboradores, e suas limitações (SILVA et al, 2017).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Em momentos como de pandemia a facilidade de aquisição de peças locais passa a ser algo importante na tomada de decisão, segundo a Gazeta do povo de abril de 2021 a combinação do aumento de casos de Covid-19 com a falta de componentes levou ao fechamento de metade das 60 fábricas de montadoras no país nas últimas duas semanas e 65 mil funcionários ficaram em casa, o equivalente a 60% da mão de obra do setor, sem contar o pessoal que já estava em home-office (GAZETADOPOVO, 2021).

Ou seja, calcular simulações entre produção nacional ou importada passa a entrar num cálculo importante de disponibilidade, por exemplo:

Situação hipotética A:

- Equipamento de ar condicionado importado para Climatizar um Datacenter com tempo médio entre falhas = 30.000h;
- Tempo médio para reparo (com importação da peça) = 2.880h (quatro meses);

$$\textit{Disponibilidade} = \frac{30.000}{30.000+2880} = \mathbf{0,9124}$$

Situação hipotética B:

- Equipamento de ar condicionado nacional para climatizar um Datacenter com tempo médio entre falhas = 20.000h;
- Tempo médio para reparo = 48h (peça nacional disponível na loja).

$$\textit{Disponibilidade} = \frac{20.000}{20.000+48} = \mathbf{0,9976}$$

Ou seja, diversas vezes, os projetistas ignoram o item “disponibilidade”na hora da tomada de decisão para escolher qual é o melhor equipamento e/ou sistema.

A questão sobre o equipamento ser importado ou nacional, neste caso, é apenas hipotética, visto que alguns produtos importados tem uma logística tão avançada que conseguem elaborar a reposição mais rápido que os nacionais.

Ainda na etapa do projeto, as redundâncias quase nunca são analisadas numericamente, quando se trata de equipamentos, sistemas e/ou componentes em série, a confiabilidade é o produto das confiabilidades:

$$R_N = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_s \cdot$$

Exemplo hipotético:

Contactoras e parte elétrica = 0,98;

Compressor = 0,98;

Condensador = 0,95;

Válvula de Expansão = 0,99;

Evaporador = 0,98.

$$R_N = 0,98 \cdot 0,98 \cdot 0,95 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 0.8580$$

Ou seja, 85,80% de confiabilidade, caso fosse colocado um condensador e um sistema elétrico em paralelo, sabendo que sistemas em paralelo a confiabilidade é:

$$R_S = (R_1 + R_2) \cdot (R_1 \cdot R_2)$$

Podemos dizer:

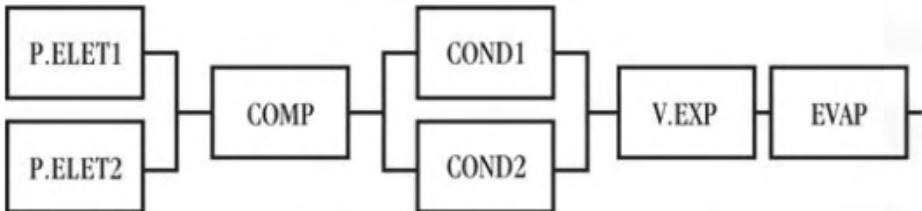


Figura 2 – Sistema de bloco.

Onde:

P.ELET = Contactoras e parte elétrica;

COMP = Compressores;

COND = Condensador;

V.EXP = Válvulas de Expansão;

EVAP = Evaporador.

$$R = R_{//P.ELET} \cdot R_{COMP} \cdot R_{//COND} \cdot R_{V.EXP} \cdot R_{EVAP}$$

$$R = 0,99 \cdot 0,98 \cdot ((0,95 + 0,95) - (0,95 \cdot 0,95)) \cdot 0,98 \cdot ((0,95 + 0,95) - (0,95 \cdot 0,95)) = 0,9460$$

Ou seja, a confiabilidade vai aumentar substancialmente, é um exemplo hipotético, mais que bem aplicado, pode auxiliar os fabricantes e os instaladores a desenvolverem sistemas mais confiáveis.

É claro que a dificuldade matemática se acentua radicalmente quando envolve redundâncias do tipo dois efetivos e um reserva, nesse caso os cálculos são muito mais complexos (integrais, somatório, combinações), para simplificar e mensurar rápido, existem softwares avançados em uma área como os da ReliaSoft (BlockSim) (RELIASOFT, 2021).

Para mensurar a confiabilidade é necessário inicialmente os dados de falha no

tempo (história) com o qual monta-se um histograma para fazer um gráfico PDF (Probability Density Function) e com esses dados podemos simular em software (weibbul ++ da ReliaSoft) (RELIASOFT, 2021), qual é o melhor tipo de função que adere a situação do produto, equipamento ou sistema, com esse estudo podemos determinar mensuravelmente dados de garantia, custos, tempo médio entre falhas e outros que deveriam ser essenciais nas tomadas de decisão.

Especificamente na refrigeração também existe o caso de comparar compressores herméticos e semi-herméticos e até mesmo abertos, visto que os herméticos não possuem a possibilidade de manutenção, foi elaborada uma simulação de 2402 equipamentos sendo metade herméticos e metade semi-herméticos, onde se constatou que o compressor hermético era mais vantajoso no primeiro ano de uso e no período restante o compressor semi-hermético devido a facilidade de manutenção se mostrou mais vantajoso, e em relação a disponibilidade foi maior nos compressores semi-herméticos, pelo menor tempo médio para reparo e maior tempo médio entre falhas.

3 | CONCLUSÕES

A qualidade da manutenção deve vir acompanhada de indicadores, especialmente nesse momento de indústria 4.0, e é claro que essa inovação na indústria deve vir acompanhada da manutenção 4.0, o que seria:

“Nos sistemas e ou equipamentos com manutenção 4.0 as atividades que antes eram feitas de forma periódica ou apenas com a falha e quebra dos equipamentos e ou sistema passarão a serem realizadas com a instrução do próprio sistema. Cada vez mais o software e inteligência artificial otimizarão a utilização do equipamento e ou sistema de forma a minimizar o tempo de parada e os prejuízos com trocas de equipamentos e ou peças. Ao usuário caberá apenas o monitoramento do sistema e ou equipamento e o foco no que realmente importa: o desenvolvimento de soluções inovadoras para seus produtos e ou serviços” (WELLELASER, 2021).

Ou seja, a matemática da manutenção e indicadores de taxa de falhas, confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade devem estar na pauta desde o início do projeto e não apenas após a operação de uma fábrica por exemplo.

Em inglês a manutenção se inicia com a palavra “*main*” que significa o principal e isso deve sempre estar pautado que a manutenção inteligente não é um custo e sim um dos principais pontos na pauta.

REFERÊNCIAS

ALSGLOBAL. Calcular a disponibilidade de máquinas e equipamentos. Disponível em <https://www.alsglobal.com/pt-br/news/artigos/2020/08/como-calculer-a-disponibilidade-de-maquinas-e-equipamentos>. Acessada em 05/07/2021.

ATMOS. **Lord Kelvin quote**. Disponível em https://atmos.uw.edu/~robwood/teaching/451/Lord_Kelvin_quote.pdf Acessado em 05/07/2021.

GAZETADOPOVO. **Pandemia falta peças afeta metade das montadoras**. Disponível em <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/pandemia-falta-pecas-afeta-metade-montadoras/>. Acessado em 05/07/2021.

SILVA, Bruna Grazielly de Jesus; LISBOA, Ainã Pinheiro; SANTOS, Áurea Haíza Almeida; SANTANA, Kelyanne Santos; SILVA, Isabelly Pereira. **CONFIABILIDADE HUMANA: UMA ABORDAGEM ATUAL DO ERRO HUMANO**. IX SIMPROD – simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe. ISSN 2447-0635. Sergipe. 2017.

MMTEC. **MANTENABILIDADE NA MANUTENÇÃO CORRETIVA: COMO APLICAR?** Disponível em <http://www.mmtec.com.br/mantenabilidade-na-manutencao-corretiva-como-aplicar/#:~:text=O%20que%20significa%20mantenabilidade&text=%E2%80%9Ca%20capacidade%20de%20um%20item,mediante%20procedimentos%20e%20meios%20prescritos.%E2%80%9D>. Acessado em 05/07/2021.

KNEZEVIC, Jezdimir. **How reliable is reliability Function?** DOI 10.13140/RG.2.2.27471.12967. Mirce Academy, Exeter. Reino Unido. November 2018.

RELIASOFT. **Blocksim-system-reliability-availability-maintainability-ram-analysis-software**. Disponível em <https://www.reliasoft.com/products/blocksim-system-reliability-availability-maintainability-ram-analysis-software>. Acessado em 05/07/2021.

RELIASOFT. **Weibull life data analysis software**. Disponível em <https://www.reliasoft.com/products/weibull-life-data-analysis-software>. Acessado em 05/07/2021.

SINGH, Pankaj; YADAV, K. P.; SHRIVASTAVA, Abhishek. **A Preliminary study on reliability engineering and its evaluation**. Turkish Journal of Engineering, Science and Technology, 30/01/2014.

WELLELASER. **Manutenção 4.0, os aspectos da quarta revolução industrial sob a perspectiva da manutenção**. Disponível em <https://wellelaser.com/manutencao-4-0-os-aspectos-da-quarta-revolucao-industrial-sob-a-perspectiva-da-manutencao/>. Acessado em 05/07/2021.

SOBRE O ORGANIZADOR

CARLOS AUGUSTO ZILLI - Possui graduação em Engenharia Civil e Matemática pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2015 e 2005). É doutorando em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (2021) e mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2020). Possui especialização em Avaliação de Imóveis e Perícias de Engenharia pelo Instituto de Pós-Graduação - FAPAN (2018), em Gestão de Obras e Projetos pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2017), e em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Centro Universitário de Capivari - FUCAP (2016). É docente no Instituto Federal de Educação de Santa Catarina (IFSC) - Campus São Carlos. Possui experiência na área de Matemática, com ênfase em Educação Matemática e em Engenharia de Avaliações e Perícias, com ênfase em Inferência Estatística. Tem interesse em temas relacionados à Ciência de Dados, Engenharia de Avaliações e Planta de Valores Genéricos.

ÍNDICE REMISSIVO

9GDL 70

A

Algoritmos 31, 35, 36, 58, 226, 237

Ambiência 124, 126, 127, 129, 132, 133, 134, 135

Análise de sensibilidade 153, 225, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 236

B

Biocombustível 86

Biodigestor 86, 88, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98

Biomaterial 184, 185, 194

Bowtie 155, 162, 166, 168, 169, 172

C

Casca de ovos de galinha 184

Cava final 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 236

Confiabilidade 147, 240, 247, 249, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259

Coronavírus 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10

Covid-19 1, 2, 4, 9, 10, 256

D

Data centers 253

Descarga atmosférica e ATPDraw 196

Dinâmica 20, 22, 24, 25, 26, 35, 69, 70, 71, 72, 74, 120, 133

Disponibilidade 39, 88, 115, 116, 120, 212, 222, 223, 239, 246, 249, 253, 255, 256, 258

E

Encargos complementares 136, 137, 151

Engenharia de custo 136, 140

Equipamentos de proteção individual-(EPI) 136, 141, 146, 151, 152

Escalonamento 31, 32, 33, 39

Essências florestais 11, 12

Evaporação 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123

F

FCA 69, 70, 71, 72

Filtração 86

Física do solo 11

G

Gestão de processos 209

I

Idoso 132, 134

Índice de qualidade de Dickson 11, 13, 14

Indústria aeroespacial 238, 239, 240, 241, 242, 243, 245, 246, 247, 248, 249

Integrado e sustentável 41, 47, 55

L

Laminados 100, 102

Linhas de transmissão 196, 197, 199, 201

M

Manufatura aditiva 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 251

Melhoria continua 209

Metano 86, 89, 90, 91, 95

Método das funções de Green 100

Monetita 184, 185, 189, 190, 191, 192

Moradia adequada 124, 126, 127, 133, 135

Motion cueing 70, 72, 73, 75, 77

N

Nordeste 23, 114, 115, 116, 121, 123, 172, 214, 215, 217, 218

O

Orçamento de obra 136

Otimização 58, 59, 183, 209, 226, 230, 235

P

Pandemia 1, 4, 9, 10, 256, 259

Pedreira 155, 156, 157, 159, 161, 162, 168, 169, 172

Planejamento de lavra 225, 228

Planejamento participativo 41, 46, 47, 55

Plano municipal de saneamento básico 41, 47, 49, 50, 52, 54, 55, 56

Platibandas 18, 20, 25, 26

Políticas públicas 41, 42, 43, 45, 46, 54, 57, 132

Potência reativa 58, 59, 63, 64, 67

Preço da rocha fosfática 225, 228, 229, 233

Pressão efetiva 18, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27

Processos 8, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 79, 87, 89, 92, 93, 121, 128, 141, 151, 163, 164, 175, 193, 204, 209, 211, 223, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 245, 246, 247, 248, 249

Projeto de cobertura 18

Prospecção 1, 3, 8, 116, 117, 174, 177, 178, 179, 182

Q

Qualidade de mudas 11, 12, 15, 16

R

Regiões críticas 31

Relações socioespaciais 124, 132, 133

Reservatórios superficiais 114, 116, 117, 119, 121, 122

Revisão sistemática da literatura 238, 240

Rota úmida 184, 187, 188

S

Segurança de mina 155, 172

Semáforos 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39

Simulador 31, 36, 37, 38, 39, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 77

Síntese 134, 140, 184, 185, 186, 187, 194, 203, 204, 205, 206, 208

Sísmica 174, 175, 176, 177, 180, 181, 182, 183

Sistemas de potência 58

Substrato 11, 13, 14, 15, 88, 89

T

Timoshenko 100, 101, 102, 103, 106, 107, 112, 113

V

Ventilação de mina 209, 210, 213, 215, 222

Vigas 100, 101, 102, 103, 104, 106, 112

W

WRAC 155, 156, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 170, 172

Atena
Editora

Ano 2021



-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

***A visão sistêmica e integrada
das engenharias
e sua integração com a sociedade***

Atena
Editora

Ano 2021



 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

*A visão sistêmica e integrada
das **engenharias**
e sua **integração com a sociedade***
