

Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares

das ciências exatas e da terra

2



Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares

das ciências exatas e da terra

2



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Gabriel Motomu Teshima

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

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 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

Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares das ciências exatas e da terra 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Francisco Odécio Sales

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C749 Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares das ciências exatas e da terra 2 / Organizador Francisco Odécio Sales. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-617-8

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.178212511>

1. Ciências exatas e da terra. I. Sales, Francisco Odécio (Organizador). II. Título.

CDD 507

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

A obra "Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares das ciências exatas e da terra 2" aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 16 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca do ensino e educação. As Ciências Exatas e da Terra englobam, atualmente, alguns dos campos mais promissores em termos de pesquisas atuais. Estas ciências estudam as diversas relações existentes da Astronomia/Física; Biodiversidade; Ciências Biológicas; Ciência da Computação; Engenharias; Geociências; Matemática/ Probabilidade e Estatística e Química. O conhecimento das mais diversas áreas possibilita o desenvolvimento das habilidades capazes de induzir mudanças de atitudes, resultando na construção de uma nova visão das relações do ser humano com o seu meio, e, portanto, gerando uma crescente demanda por profissionais atuantes nessas áreas. A ideia moderna das Ciências Exatas e da Terra refere-se a um processo de avanço tecnológico, formulada no sentido positivo e natural, temporalmente progressivo e acumulativo, segue certas regras, etapas específicas e contínuas, de suposto caráter universal. Como se tem visto, a ideia não é só o termo descritivo de um processo e sim um artefato mensurador e normalizador de pesquisas. Neste sentido, este volume é dedicado aos trabalhos relacionados a ensino e aprendizagem. A importância dos estudos dessa vertente, é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento. Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada. Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Francisco Odécio Sales

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ALTERNATIVE FOR THE QUALITY CONTROL OF ANTILOMOMIC SÉRUM PRODUCTION PROPOSED BY *Lonomia obliqua* CATERPILLARS USING ANALYTIC TECHNIQUES

Anicarine Ribeiro Leão
Cibele Bugno Zamboni
Dalton Giovanni Nogueira da Silva
Simone Michaela Simons

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125111>

CAPÍTULO 2..... 5

ANÁLISE DE ESTABILIDADE UTILIZANDO A TEORIA DE FLOQUET EM SISTEMAS DE TETHERS

Denilson Paulo Souza dos Santos
Jorge Kennety Silva Formiga
Guilherme Marcos Neves
Guilherme Parreira Moia
Rita de Cássia Domingos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125112>

CAPÍTULO 3..... 17

CONSTITUINTES E CONTAMINANTES MINERAIS EM SUPLEMENTOS *WHEY PROTEIN*: ESTUDO DE CASO E ESTRATÉGIAS PARA ANÁLISE QUÍMICA

Thalles Pedrosa Lisboa
Antonio Pedro Nogueira Guimarães
Lucas Vinícius de Faria
Rafael Arromba de Sousa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125113>

CAPÍTULO 4..... 30

CLASSIFICAÇÃO DE TRÁFEGO EM REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS DO TIPO MLP

Nilton Alves Maia
Victor de Freitas Arruda
Maurílio José Inácio
Renê Rodrigues Veloso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125114>

CAPÍTULO 5..... 43

CRESCIMENTO EM DAP E ALTURA TOTAL DE CINCO ÁREAS CILIARES NO MUNICÍPIO DE GURUPI-TO

Maria Cristina Bueno Coelho
Mauro Luiz Erpen
Marcos Vinicius Cardoso Silva
Yandro Santa Brigida Ataide
Mathaus Messias Coimbra Limeira

Walberisa Magalhães Gregório
Maurilio Antonio Varavallo
Juliana Barilli
André Ferreira dos Santos,
Max Vinícios Reis de Sousa
Marcos Giongo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125115>

CAPÍTULO 6..... 53

ESTUDO SOBRE MANOBRAS DE FASE

Gabriel Homero Barros Vieira
Claudia Celeste Celestino de Paula Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125116>

CAPÍTULO 7..... 69

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO
CARREGADOS COM FARINHA DE BAGAÇO DE MANDIOCA**

Alexsandro Bussinger Bon
Nancy Isabel Alvarez Acevedo
Marisa Cristina Guimarães Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125117>

CAPÍTULO 8..... 82

**GENERATION OF WIND ENERGY WITH KITES: A REVIEW OF THE AIRBORNE WIND
ENERGY TECHNOLOGY**

Laura Barros Cordeiro Peçanha
Natalia de Souza Barbosa Oliveira
Wagner Vianna Bretas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125118>

CAPÍTULO 9..... 97

**INTERVENÇÃO PSICOSSOCIAL COM A TÉCNICA DE GRUPO OPERATIVO NO ENSINO
SUPERIOR NA FACULDADE DE FILOSOFIA CIÊNCIAS, E LETRAS DE CANDEIAS –
BAHIA - INTEGRAR PARA RESIGNIFICAR**

Adilton Dias de Santana
Jessica Alves de Amorim Silva
Nadjane Crisóstomos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.1782125119>

CAPÍTULO 10..... 108

**MONITORIA DE GEOLOGIA GERAL PARA O CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS: UM
RELATO DE EXPERIÊNCIA**

Cibele Tunussi
Marcos Henrique Pacheco

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251110>

CAPÍTULO 11..... 115

CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICAS Y CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CUENCA DE SALINAS GRANDES, PUNA NORTE ARGENTINA

María del Carmen Visich

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251111>

CAPÍTULO 12..... 128

O ENSINO DE CIÊNCIAS NO ENSINO FUNDAMENTAL: EXPERIMENTO PARA PURIFICAÇÃO DA ÁGUA

Sandra Cadore Peixoto

Ail Conceição Meireles Ortiz

Janilse Fernandes Nunes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251112>

CAPÍTULO 13..... 139

PRODUÇÃO DE MEMBRANAS DE CELULOSE BACTERIANA A PARTIR DE DIFERENTES SUBSTRATOS EM CULTURA ESTÁTICA: UMA REVISÃO

Eduarda Zeni Neves

Bruna Segat

Geasi Lucas Martins

Michele Cristina Formolo Garcia

Giannini Pasiznick Apati

Andrea Lima dos Santos Schneider

Ana Paula Testa Pezzin

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251113>

CAPÍTULO 14..... 151

DESTRITOS ESPACIAIS: CONSEQUÊNCIAS AO MEIO AMBIENTE E AO ESPAÇO

Letícia Camargo de Moraes

Jorge Kennety Silva Formiga

Fabiana Alves Fiore Pinto

Denilson Paulo Souza dos Santos

Vivian Silveira dos Santos Bardini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251114>

CAPÍTULO 15..... 163

UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA OS MODELOS ATÔMICOS UTILIZANDO O SIMULADOR PHET

Carla Caroline Melgueira da Silva

Paula Gabrielly Freire Jacyntho

Andrey Martins Monteiro

Maria Luiza Santos Cuvello

Yasmin Ferreira da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251115>

CAPÍTULO 16.....	174
VISUALIZAÇÃO DAS DIFERENÇAS NUMÉRICAS ENTRE AS ALTITUDES NORMAL E ORTOMÉTRICA NO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL - ESTUDO DE CASO Roosevelt De Lara Santos Jr  https://doi.org/10.22533/at.ed.17821251116	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	185
ÍNDICE REMISSIVO.....	186

CAPÍTULO 1

ALTERNATIVE FOR THE QUALITY CONTROL OF ANTILOMONIC SÉRUM PRODUCTION PROPOSED BY *Lonomia obliqua* CATERPILLARS USING ANALYTIC TECHNIQUES

Data de aceite: 01/11/2021

Anicarine Ribeiro Leão

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
São Paulo, SP, Brasil

Cibele Bugno Zamboni

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
São Paulo, SP, Brasil

Dalton Giovanni Nogueira da Silva

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
São Paulo, SP, Brasil

Simone Michaela Simons

Instituto Butantan
São Paulo, SP, Brasil

ABSTRACT: In this investigation, the concentration of Cl in the venom (extract) obtained from the bristles of caterpillars of the species *Lonomia obliqua* Walker (*L. obliqua*) was analyzed using the EDXFR technique. The concentration data were compared and validated using INAA analysis. The results will generate data to evaluate the possibility of establishing a standard extract, which would reduce costs in the production of antilonomic serum.

KEYWORDS: Biological material, Cl concentration, EDXRF, INAA.

ALTERNATIVA PROPOSTA PARA O CONTROLE DE QUALIDADE NA PRODUÇÃO DO SORO ANTILOMÔNICO DAS LAGARTAS DE LONOMIA OBLIQUA UTILIZANDO TÉCNICAS ANALÍTICAS

RESUMO: Nesta investigação, a concentração de Cl no veneno (extrato) obtido a partir das cerdas das lagartas da espécie *Lonomia Obliqua*, Walker (*L. obliqua*) foi analisada utilizando a técnica EDXFR. Os dados das concentrações foram comparados e validados utilizando a análise do INAA. Os resultados irão gerar dados para avaliar a possibilidade de estabelecer um extrato padrão, o que reduziria os custos na produção de soro antilonômico.

PALAVRAS-CHAVE: Material biológico, Cl, concentração, EDXRF, INAA.

INTRODUCTION

The caterpillars *Lonomia obliqua* Walker (*L. obliqua*) species, commonly found in southern Brazil, is very poisonous and can cause severe damage in human after the contact, as fatal hemorrhagic and acute renal injury [1]. The first case of poisoning (registered in Brazil) occurred in 1989 and the average number of accidents is closer to 500/year [2]. Since 1996 the Butantan Institute (IBu, Research Center at São Paulo city, Brazil), in collaboration with the Health Departments of some Brazilian states, produces antivenom (extract) using the caterpillars of the species *L. obliqua* mainly from Parana and Rio Grande do Sul, where the prevalence of

incidents is high.

Nowadays, the Butantan Institute is active in the production of this antivenom in Latin America; it is the only producer of *antilonomic* serum. However, in the last two years, this caterpillar has been found in other regions (São Paulo, Rio de Janeiro and Santa Catarina) due, mainly, to the expansion and destruction of natural ecosystems provide their growth in all regions of the country. As a result, the number of accidents more than tripled. To ensure that the antivenom produced (considering the different origins) can be used for the manufacture of unaltered *antilonomic serum*, it is necessary its standardize. Recent measurements using the NAA technique identified Cl as a majority element [3]. Considering that the efficacy and safety of antivenom immunotherapy are directly related to the reproducibility, we intend to standardize the extracts using Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Technique (EDXRF) for Cl determination. The results will be compared and validated with INAA analysis.

EXPERIMENTAL

Sample (antivenom) preparation: The Caterpillars are collected by the Health Departments of States and sent to IBu. The caterpillars are classified by origin. In this investigation, they came from the state of Paraná. Firstly, the caterpillars undergo a period of quarantine; after they are anesthetized in an atmosphere of CO₂ (dry ice) and the bristles (poisonous) are removed by dissection. These bristles are weighed and homogenized in PBS buffer (saline-phosphate) at pH 7.4 to a final solution of 10% (w/v) tissue. The solution is centrifuged at 3000 rpm, at 4°C for 20 minutes. The supernatant is filtered and the resulting extract (antivenom) is aliquoted, frozen in dry ice/ethanol and kept at -80°C (until use). Part of this solution (30µL) was transferred to the filter paper. Samples were prepared in triplicate.

EDXRF: The measurements were performed using compact X-ray spectrometer from Amptek with Ag X-ray mini-tube with a Si Drift (25 mm² x 500 µm) Be window (12.5 µm). The excitation was performed using 30 kV and 5 µA for a counting time of 200 s. The analysis was performed using WinQxas software.

INAA: The samples were the same used in EDXRF measurements (INAA and EDXRF are no destructive techniques). The measurements were performed in the IEA-R1 (3.0 - 4.5MW, pool type) at IPEN/CNEN-SP, Brazil. Sample and Standard Solution were irradiated for four minutes and gamma counting by 300s using HPGe detector (ORTEC-GEM 60195) coupled to a MCA (ORTEC - 919E). The elements concentrations were obtained using the *ATIVACÃO* software.

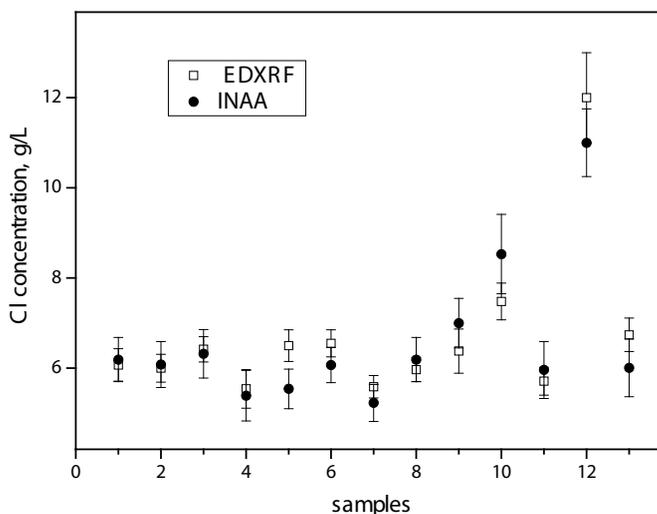
RESULTS AND DISCUSSION

The Cl concentrations in antivenom samples by EDXRF and INAA are presented in Table 1 as the mean value (MV), standard deviation (± 1 SD), minimum (min), maximum (max), median (med) and Range, from triplicate analyses. For visualization, in Figure 1 the mean values for Cl concentrations are presented for both techniques.

Cl, g/L	Techniques	
	EDXRF	INAA
MV	6.69	6.58
± 1 SD	1.68	1.58
min	5.54	5.23
max	12.00	11.04
med	6.38	6.09
Range*	3.33 – 10.05	3.42 – 9.74

*confidence interval of 95%.

Table1. The Cl concentrations in antivenon samples by EDXRF and INAA.



The comparison between INAA and EDXRF techniques (Table 1) emphasizes a good agreement (*t-test*, $p > 0.05$), suggesting the viability to monitor Cl in the extract in fast and efficient way. Moreover, these data also suggests that the ranges for Cl levels are close to these regions (for a confidence interval of 95%).

The Cl analyses can be used to standardize the antilonomic serum of *L. obliqua* specie checking the quality and safety in the antivenom production. Moreover, these data can introduce improvements in the antilonomic serum production, mainly as regards to

toxicity, because in case of excesses (high concentration) an end product can be generated that do not meet the requirements for quality of the antivenom production.

CONCLUSION

The CI concentration can be an efficient monitor be used to standardize the *antilonomic* serum. To attend this demand, the CI analysis in antivenom by EDXRF is fast, reliable and contribute to improve the quality and yield of the antivenom production. We intend to extend this analysis to other regions (São Paulo and Rio de Janeiro) where the incidence has increased in the last year.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors thank the financial support of Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) and Fundação Butantan.

REFERENCES

- [1] Alvarez Flores MP, Zannin M, Chudzinski-Tavassi AM. New insight into the mechanism of *Lonomia obliqua* envenoming: toxin involvement and molecular approach. *Pathophysiol Haemost Thromb.* 2010;37(1):1-16.
- [2] Ministério da Saúde (2018), Casos de acidentes por lagartas. Brasil, Grandes Regiões e Unidades Federadas. 2000 a 2017, in: <http://portalmis.saude.gov.br/saude-de-a-z/acidentes-por-animais-peconhentos/13702-situacao-epidemiologica-dados>
- [3] LEAO, A.R ; ZAMBONI, C.B. ; GIOVANNI, D.N S. ; MEDEIROS, I.M.A. ; SIMONS, S.M. Neutron Activation Analyses for investigation of *antilonomic* serum for caterpillars *Lonomia obliqua* Walker (Lepidoptera: Saturniidae). In: International Workshop on Utilization of Research Reactors (2017) IPEN-SP, Brazil. Book of Abstracts of IEAR1-60y, v.1 p.9, 2017 IPEN-SP, Brazil

ANÁLISE DE ESTABILIDADE UTILIZANDO A TEORIA DE FLOQUET EM SISTEMAS DE TETHERS

Data de aceite: 01/11/2021

Denilson Paulo Souza dos Santos

Universidade Estadual Paulista – UNESP,
campus de São João da Boa Vista
São João da Boa Vista – SP
<https://orcid.org/0000-0003-2682-4043>

Jorge Kennety Silva Formiga

Universidade Estadual Paulista – UNESP,
campus de São José dos Campos
São José dos Campos – SP
<https://orcid.org/0000-0002-0004-7496>

Guilherme Marcos Neves

Universidade Estadual Paulista – UNESP,
campus de São João da Boa Vista
São João da Boa Vista – SP
<http://lattes.cnpq.br/3269469964323365>

Guilherme Parreira Moia

Universidade Estadual Paulista – UNESP,
campus de São João da Boa Vista
São João da Boa Vista – SP
<http://lattes.cnpq.br/4619733986441108>

Rita de Cássia Domingos

Universidade Estadual Paulista – UNESP,
campus de São João da Boa Vista
São João da Boa Vista – SP
<https://orcid.org/0000-0002-0516-0420>

RESUMO: O estudo de estabilidade de soluções para sistemas ligados por cabos (tether systems) são considerados neste trabalho, assumindo as seguintes suposições: dois corpos conectados por cabos de tamanho ajustável, com massas

diferentes, em uma órbita Kepleriana em um campo de força central. Nosso objetivo foi a análise as soluções de equilíbrio de estruturas espaciais ligados por cabo (tether) utilizando leis de controle para o tamanho do cabo. As soluções são encontradas assumindo leis de controles em função da variável independente excentricidade (e) e anomalia verdadeira (v) que descrevem a dinâmica orbital do sistema. A Teoria de Floquet foi utilizada para analisar as soluções contínuas e periódicas na matriz de monodromia do sistema e as leis de controle foram encontradas com as regiões que contém soluções de estabilidade para órbitas periódicas para a excentricidade e anomalia verdadeira.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas Ligados por Cabos; Detritos Espaciais; Estabilidade; Controle.

STABILITY ANALYSIS USING THE FLOQUET THEORY IN TETHERS SYSTEMS

ABSTRACT: The study of stability of the solution for tether systems were considered in this work, with the following assumptions: two bodies connected by cables of adjustable size, with different masses, in a Keplerian orbit in central force field. Our goal is analyzing equilibrium solutions of the tether using a control law for the cable size. The solutions are found assuming a control law in function of independent variables eccentricity (e) and true anomaly (v) that describe the orbital dynamic of the problem. The Floquet theory was used to analyze the continuous and periodic solutions in the monodromy matrix of the system, and control laws were found with stability

solutions for periodic orbits for eccentricity and true anomaly.

KEYWORDS: Space Tethers; Space Debris; Stability; Control.

1 | INTRODUÇÃO

Tether systems são sistemas formados por objetos rígidos ligados entre si por cabos flexíveis e de elevado comprimento, conhecidos como tethers. Possuem grande potencial para transporte de cargas ao espaço sem o uso de propelentes. Entre suas diversas aplicações em missões espaciais podemos citar o conceito de elevador espacial e a criação de gravidade artificial.

Em 1895, foram descritos por Tsiolkovskii em *“Day-Dreams of Earth and Haven”* a primeira estrutura espacial formada por sistemas de Tethers (Sistemas conectados por cabos) que ficou registrado nos anais da história (BELETSKY; LEVIN, 1993), que descrevem a criação de uma gravidade artificial gerada por um sistemas de Tethers em rotação de uma estação espacial. A missão *Gemini XI* demonstrou na prática o conceito de geração de gravidade artificial por sistemas ligados por cabos (tethers systems). Aprimorado por (CHOBOTOV; MAINS, 1999), onde a primeira tarefa era conectar um cabo de cerca de 30 m entre as espaçonaves *Gemini* e *Agena* e colocar o sistema em uma rotação lenta para produzir uma gravidade artificial, procedimento repetido com sucesso alguns anos depois com o projeto *Gemini XII*.

O problema de *Space Tether Systems* foi estudado em vários artigos publicados, Beletsky e Levin (BELETSKY; LEVIN, 1993), começam definindo o cenário para cabos no espaço, resumindo as possíveis aplicações e também discutindo fatos e ficção, analisando claramente os principais parâmetros e aplicações para sistemas de cabos (TS), como a densidade do material, as forças efetivas, dinâmica orbital, modelos mecânicos, atitude e possíveis perturbações para os cabos flexíveis levando em consideração suas massas, desconsiderando as massas e possíveis variações massivas. Durante a década, Person (PEARSON, 1979) passou a considerar aplicações dessas formulações em satélites lunares para transporte e comunicação de dados, usando o conceito de elevadores espaciais, a dinâmica de três corpos, usando os pontos Lagrangianos L_1 e L_2 para explorar a estabilidade. A ideia de um elevador espacial como uma forma conveniente e de baixo custo de acessar o espaço foi formulado em 1960 pelo russo Yuri Artsutanov (ARTSUTANOV, 1969) no trabalho *“Into the Cosmos without Rockets”* onde analisou as possibilidades de criação de um elevador espacial conectando a terra a uma órbita de cerca de 36000 km. Os requisitos mínimos para um elevador espacial é obviamente um cabo forte o suficiente para suportar seu próprio peso quando pendurado em uma órbita geoestacionária.

Aslanov em um de seus artigos realiza um estudo da dinâmica de um tether após a ruptura de um elevador espacial devido à uma colisão com um fragmento no espaço (ASLANOV et al., 2013). Foi considerado que a ruptura se deu em uma órbita

geoestacionária, levando em conta a ação de forças de origens gravitacionais, inerciais e aerodinâmicas. Foi descoberto que alguns fragmentos chegaram até a superfície terrestre com uma velocidade considerável. Em um outro artigo, Aslanov (ASLANOV; MISRA; YUDINTSEV, 2017), aborda um movimento caótico de um sistema formado por um rebocador (tug-debris) de baixo empuxo, causado pelos efeitos da excentricidade da órbita e o valor do empuxo exercido. Considerou-se o sistema como duas massas pontuais conectadas por um tether de massa desprezável. Obteve-se uma equação geral para o movimento, a fim de analisar os efeitos causados pela excentricidade e pela perturbação gerada por um movimento fora do plano de referência.

Bainum and Kumar (BAINUM; KUMAR, 1980), pesquisou leis de controle alternativas com base em aplicações do regulador linear (LR), analisando as condições necessárias e suficientes para a estabilidade do movimento do sistema (linear) nas proximidades de sua localização nominal e pontos de equilíbrio. Misra and Amier (MISRA; AMIER; MODI, 1988) discutem as possibilidades de configuração de equilíbrio do *TS* utilizando um pêndulo duplo dentro de um plano orbital, fixando dois casos: cabo de comprimento fixo e comprimento variável, também foram analisadas a resposta dinâmica do sistema no problema de três corpos. Kalantzis (KALANTZIS et al., 1998) analisou o comportamento dos cabos verificando em três dimensões o movimento de atitude, usando a formulação Lagrangiana para as equações de movimento e implementou dois controladores independentes: controle de atitude e de vibração.

Um controle de atitude de satélites foi desenvolvido utilizando um controle em “*feedback linearization technique (FLT)*” com atuadores. Misra (MISRA, 2008) evidenciou a dinâmica e o controle de satélites ligados por cabos (Tethers) de dois corpos e n-corpos, enfocando os efeitos das forças aerodinâmicas e eletrodinâmicas na estabilidade de um satélite conectado.

Chobotov and Main (CHOBOTOV; MAINS, 1999) analisaram a probabilidade de colisão com objetos residentes no espaço (*Space Debris*), detritos naturais (micro meteoroides) e objetos humanos (estágios de foguetes, satélites antigos, fragmentos de desintegração, erosão e colisões) que orbitam a Terra. Investigaram a probabilidade de impacto com partículas de 0,1 mm ou mais, e obteve resultados que mostram que a probabilidade é alta para objetos maiores que 10 cm de diâmetro.

Burov et al. (BUROV; KOSENKO, 2007; BUROV; PASCAL; SLEPANOV, 2000) mostram o movimento de *tethers* considerando oscilações de halteres, corpos no campo de força central incluindo vibrações, mostrando soluções de estabilidade para ângulos na dinâmica caótica em órbita elíptica. Burov et al. (BUROV et al., 2018; BUROV; TROGER, 2000; BUROV; KONONOV; GUERMAN, 2011) analisam o problema em outro aspecto do pêndulo ancorado na lua, considerando as rotações uniformes de um sistema amarrado de dois corpos em movimento plano e o controle do comprimento da corda, também visto em (FERREIRA, 2015b), e um sistema *tethered* na lua com comprimento de tether variável em

problema um restrito de três corpos. Em diversos estudos (FERREIRA et al., 2018a, 2019; MOIA; SANTOS; FORMIGA, 2019), foram sugeridos métodos de controle da configuração geométrica para *Tethers Systems* incluindo o estudo em nanosatélites.

Jin e Hu (JIN; HU, 2006) usou a teoria de controle ótimo para resolver o problema, com uma combinação de quase-linearização e séries Chebyshev truncada, um método útil para resolver o problema de controle ótimo não linear restrito do sistema de subsatélite *tethered* com três graus de liberdade.

Um review sobre o tema foi elaborado por (CARTMELL; MCKENZIE, 2008) e analisou detalhadamente as referências sobre o tema, considerando a propulsão e a carga útil no espaço. Nesta revisão, dois campos importantes da literatura foram classificados e enfatizados: troca de momento e cabos eletrodinâmicos, e mostrando as principais configurações, desenvolvimentos e tecnologias empregadas nas missões atuais.

Outras aplicações de sistemas que utilizam tethers (BIRKHOFF, 1927) (BIRKHOFF, 1927) são visualizadas nestes trabalhos, dando ênfase a sistemas de penetração no corpo, que consiste em lançar uma espaçonave e durante uma manobra gravitacionalmente assistida de *rendezvous* em um cometa ou asteroide, é lançado um cabo e ele é fixado no respectivo corpo penetrando a superfície, com objetivo de coletar amostras da superfície do corpo ou realizar um *swingby* no mesmo (FERREIRA et al., 2017, 2018d; FERREIRA; PRADO; WINTER, 2018), manobras que estão sendo realizadas pelas agências espaciais, que é o caso da missão OSIRIS-REX que coletou amostras no asteroide Bennu em 2020.

Ferreira (FERREIRA et al., 2018b) realiza um estudo da dinâmica de um sistema composto por um asteroide duplo onde será ancorado um tether em um dos corpos. Com a finalidade de se obter os pontos de equilíbrio e analisar a estabilidade do sistema, foi necessário conhecer o formato, dimensões e a distribuição de massa do asteroide. Inicialmente os corpos foram tratados como esferas e obteve-se um resultado parcial, em seguida adicionou-se irregularidades nos corpos tornando o formato mais realista. Foram analisados os asteroides Ostro e Atiope, ambos são asteroides duplos e síncronos. Obteve-se que para os asteroides irregulares em que o ponto de ancoragem estava no plano formado pelos corpos primários não foram encontradas soluções fora deste plano. Em um outro trabalho, Ferreira (FERREIRA et al., 2018c) aborda um “portal de captura” capaz de alterar o movimento de um veículo espacial, realizando uma manobra “estilingue” sem gasto de combustível. Esta manobra consiste em um tether fixo na superfície de um corpo enquanto a outra extremidade possui uma rede, que será utilizada pelo veículo para executá-la, e pode ser utilizada para captura ou escape em relação ao corpo principal.

Santos (SANTOS et al., 2015) analisou as condições de equilíbrio para um sistema formado por um halter, composto por duas massas pontuais conectadas por um cabo de massa desprezável e de comprimento variável. A órbita elíptica planar é descrita a partir do centro de massa do sistema e as equações de movimento foram obtidas através da formulação Lagrangiana considerando as energias cinéticas e potenciais do sistema. Foram

obtidas leis de controle para o ângulo de rotação ao redor do centro de massa e utilizou-se da teoria de Floquet para adquirir as condições de estabilidade. Santos (SANTOS; FERREIRA, 2015) aborda o sistema composto por um haltere, desta vez considerando o movimento tridimensional fora do plano de referência. Foram analisados dois casos, o primeiro para o comprimento do tether dependente da excentricidade, anomalia verdadeira e de seu comprimento inicial.

2 | MODELO INICIAL E FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Cabos são parte integrante de vários sistemas de engenharia, *e.g* guindastes de cabo, teleféricos e unidades industriais. Seu peso leve tem vantagens óbvias para a transmissão das forças do atuador. A geometria do problema envolve conectar corpos por cabos em um ambiente de campo de força central (kepleriano), sob a ação das forças dos primários.

A princípio iremos considerar o movimento de um halteres conectado por cabos em um campo de força central newtoniano em movimento kepleriano planar com 2 pontos de massa desprezáveis m_1 e m_2 (Figura 1), em órbita elíptica em torno do primário e não sujeito a forças externas, além da força gravitacional.

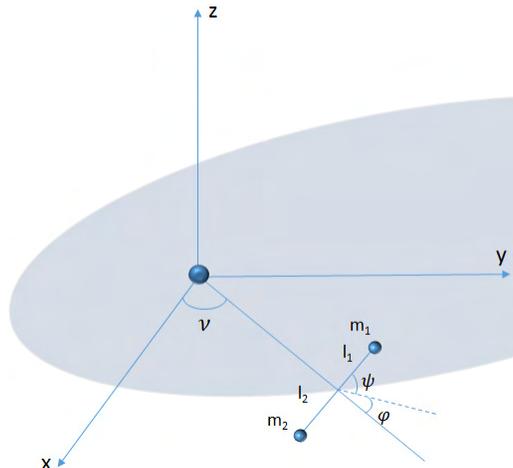


Figura 1 - Sistema de tethers formado por 1 halteres.

sem massa, pode-se negligenciar a orientação do sistema e, portanto, negligenciar as variações sobre o centro de massa. Esta formulação permite que o movimento seja descrito por um sistema kepleriano de movimento.

$$\rho = \frac{p}{1 + e \cos(v)} \quad (1)$$

com ρ como parâmetro focal, e excentricidade, η anomalia verdadeira. As coordenadas do sistema são:

$$\begin{cases} x_0 = \rho \cos(v) \\ y_0 = \rho \sin(v) \\ x_1 = x_0 + l_1 \rho \cos(v + \varphi) \\ y_1 = y_0 + l_1 \rho \sin(v + \varphi) \\ x_2 = x_0 - l_2 \rho \cos(v + \varphi) \\ y_2 = y_0 - l_2 \rho \sin(v + \varphi) \end{cases} \quad (2)$$

Onde, x_0 e y_0 são os vetores componentes da posição do centro de massa; (\vec{r}_0) ; x_i e y_i são as coordenadas da posição dos pontos massivos i , (\vec{r}_i) .

$$\begin{cases} \vec{r}_0 = (x_0, y_0) \\ \vec{r}_1 = (x_1, y_1) \\ \vec{r}_2 = (x_2, y_2) \end{cases} \quad (3)$$

A energia potencial do sistema pode ser obtida com a seguinte expressão:

$$V = - \sum_{i=1}^n \left(\frac{\mu_0 m_i}{|\vec{r}_i|} \right) \quad (4)$$

Onde: n representa o número de pontos de massas do sistema; m_i representa a massa do ponto; (\vec{r}_i) a distância do ponto do ponto de massa ao centro da Terra; $\mu_0 = GM$; G constante universal gravitacional; M massa do primário, neste caso a Terra, temos a energia potencial para os 2 corpos,

$$V = - \frac{\mu_0 m_1}{|\vec{r}_1|} - \frac{\mu_0 m_2}{|\vec{r}_2|} \quad (5)$$

Serão introduzidas 2 novas variáveis μ e m , para uma simplificação:

$$\mu = \frac{m_1}{m} \quad (6)$$

$$m = m_1 + m_2 \quad (7)$$

Aplicando-os à equação temos:

$$V = -\mu_0 \mu \left(\frac{m}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} + \frac{1 - m}{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}} \right) \quad (8)$$

O resultado da Eq. 8 pode ser simplificado, introduzindo uma variável $\lambda = \frac{1}{p}$, e assumindo que $\lambda \ll 1$, i.e., o comprimento do tether é muito menos que o parâmetro focal p . Utilizando uma expansão em série de Taylor de 2ª ordem para o potencial obtemos,

$$V = \frac{m(\mu - 1)\mu\mu_0(1 + e \cos(v))^3(1 + 3 \cos(2\varphi))\lambda^2}{4p} - \frac{m\mu_0(1 + e \cos(v))}{p} \quad (9)$$

e desprezando os erros de aproximação.

A energia cinética do sistema pode ser obtida pela seguinte equação,

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{m_i |\bar{v}_i|^2}{2} \quad (10)$$

As Equações diferenciais ordinárias de segunda ordem, que descrevem o movimento de sistemas mecânicos sob a ação de forças aplicadas, onde $L = T - V$. Para a análise a seguir, as coordenadas generalizadas são φ e l e o sistema está apenas sob o gradiente de gravidade e o sistema é conservativo. Duas equações podem ser obtidas com base nessas coordenadas:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{dL}{d\varphi} = 0 \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{l}} \right) - \frac{dL}{dl} = 0 \end{cases} \quad (11)$$

Se o sistema for resolvido e for possível, pode-se perceber que a corda vai crescer, atingindo valores fisicamente impossíveis, quaisquer que sejam as condições iniciais. Definindo φ e l permite controlar o sistema, neste caso foi escolhido definir φ e obter consecutivamente o comportamento l . O resultado da referida equação é:

$$l \left(3\mu_0 \sin(2\varphi) (1 + e \cos(v))^3 + 2p^3 (\ddot{v} + \dot{\varphi}) \right) + 4p^3 \dot{l} (\dot{v} + \dot{\varphi}) = 0 \quad (12)$$

Todas essas variáveis estão relacionadas ao tempo. Para uma formulação mais vantajosa, considere uma relação atemporal, baseada apenas em posições gerais e dada pela nova anomalia verdadeira como variável independente v , denotando a respectiva derivada pela equação de *Stroke* (SANTOS; FERREIRA, 2015), com

$$\left(\frac{\partial}{\partial v} \right)' = \frac{d}{dv}; \quad \frac{d}{dt} = \dot{v} \frac{d}{dv} = \omega_0 (1 + e \cos(v))^2 \frac{d}{dv}; \quad \omega_0 = \frac{\mu_0}{p^3} \quad (13)$$

A equação do movimento do sistema espacial pode ser escrita como,

$$(1 + e \cos(v))\varphi'' + 2 \left(\frac{l'}{l} (1 + e \cos(v)) - e \sin(v) \right) (\varphi' + 1) + 3 \cos(\varphi) \sin(\varphi) = 0 \quad (14)$$

3 | CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE DO SISTEMA DINÂMICO - TEORIA DE FLOQUET

Para analisar as condições de estabilidade das soluções da Equação 14, sendo uma Equação diferencial ordinária não linear, é possível verificar a estabilidade analisando o

comportamento do sistema em torno de pequenas oscilações. A solução das equações de variação após um período T da órbita periódica, com a condição inicial é a matriz identidade (I) é conhecida como *Matriz de Monodromia* (A).

Sugerindo uma lei de controle alternativa para o sistema de movimento, suponha a seguinte relação para o desempenho do cabo,

$$l(v) = \eta(v) \frac{l_0}{1 + e \cos(v)} \quad (15)$$

Considerando, $\varphi = \omega v + \varphi_0$, analisando a vizinhança em torno do ponto, $\varphi_0 = 0$, obtêm-se:

$$4(\omega + 1 + \delta\varphi')(1 + e \cos(v)) \frac{\eta'(v)}{\eta(v)} + 3 \sin(2(\omega v + \delta\varphi)) + 2(1 + e \cos(v))\delta\varphi'' = 0 \quad (16)$$

Substituindo a Equação $\varphi = \omega v + \delta\varphi$ em relação a anomalia verdadeira $\eta(v)$ com variável independente,

$$\delta\varphi''(1 + e \cos(v)) + 3 \cos(2\omega v + \delta\varphi) \sin(\delta\varphi) - \frac{3 \sin(\delta\varphi')}{2(\omega + 1)} = 0 \quad (17)$$

Esta é a equação diferencial não linear do movimento perturbado (equação da perturbação com pequenas variações). A equação linearizada é obtida através de simplificações trigonométricas e a Equação 17 será reescrita da seguinte forma,

$$(1 + e \cos(v))\delta\varphi'' + \frac{3}{2} \left(2 \cos(2\omega v) \delta\varphi - \frac{\sin(2\omega v) \delta\varphi'}{\omega + 1} \right) = 0 \quad (18)$$

A matriz é obtida pela integração numérica de um período da órbita (2π) da equação da variação (Equação 18). Um bom refinamento numérico do fechamento da órbita é essencial para obter uma matriz de monodromia (A) precisa, a matriz de monodromia é obtida para analisar a estabilidade em relação a pequenas perturbações ($\delta\varphi$) do ângulo de orientação φ .

A Equação 18 é a equação das variações e é possível analisar sua estabilidade usando a teoria de Floquet, pois essa equação é uma equação diferencial linearizada de segunda ordem com coeficientes periódicos. A equação linearizada restringe esta análise a pequenas variações de φ . Aplicando a teoria de Floquet, encontra-se a matriz de monodromia para este sistema.

A matriz de monodromia de estabilidade (A) tem algumas propriedades importantes, que são: $\det(A) = 1$; $\{\lambda_1 = \lambda; \lambda_2 = \lambda^{-1}\}$ Autovalores da matriz; $Tr(A) = 2 + \sum \lambda_r$.

ω	e	ω	e
-4	[0, 0.2956] U [0.9063, 0.9334]	0	[0, 0.9999]
-3.75	[0.7821, 0.8333]	0.25	No Solutions found
-3.5	[0, 0.0966] U [0.6824, 0.7690]	0.5	No Solutions found
-3.25	[0.6328, 0.7542]	0.75	[0.0177, 0.0325]
-3	[0, 0.7895]	1	[0.8789, 0.8805]
-2.75	[0, 0.6370]	1.25	No Solutions found
-2.5	[0, 0.4906]	1.5	[0.0, 0.1338]
-2.25	[0, 0.1935]	1.75	[0.0, 0.2684]
-2	[0, 0.5453]	2	[0, 0.5539] U [0.9778, 0.9789]
-1.75	No Solutions found	2.25	[0, 0.5820]
-1.5	No Solutions found	2.5	[0, 0.6451]
-1.25	No Solutions found	2.75	[0.6426, 0.7665]
-1	-	3	[0, 0.0989] U [0.9666, 0.9859]
-0.75	No Solutions found	3.25	[0, 0.0890] U [0.7768, 0.8296]
-0.5	0	3.5	[0, 0.2961] U [0.7656, 0.8173]
-0.25	[0.4521, 0.9999]	3.75	[0, 0.3412] U [0.8506, 0.8792]
0	[0, 0.9999]	4	[0, 0.4207]

Tabela 1 – Intervalo que contém as soluções estáveis da matriz de Monodromia em função da excentricidade da órbita do tether em função da anomalia verdadeira da órbita, são visualizadas as condições de estabilidade para ω onde os valores positivos correspondem a rotações diretas (direção do movimento orbital).

O indicador de estabilidade é dado pela estabilidade correspondente ao Traço da Matriz de Monodromia ($Tr(A)$) entre 0 e 2 ($0 < -|Tr(A)| \leq 2$), onde $Tr(A)$ significa traço da matriz A. Os valores positivos entre os limites descritos correspondem à estabilidade da solução (aproximação linear), os valores negativos correspondem à instabilidade e os valores zero correspondem aos casos críticos.

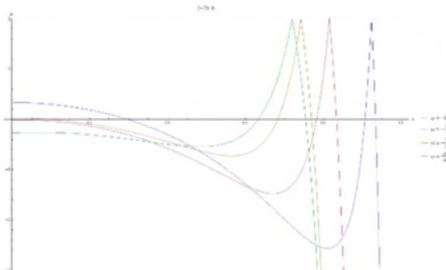


Figura 2 - Região de Estabilidade para $\omega =$

$$\left\{-4; -\frac{15}{4}; -\frac{7}{2}; -\frac{13}{4}\right\}.$$

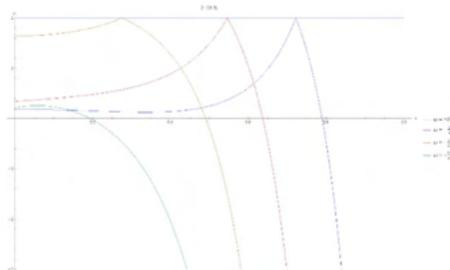


Figura 3 - Região de Estabilidade para $\omega =$

$$\left\{-3; -\frac{11}{4}; -\frac{5}{2}; -\frac{9}{4}\right\}.$$

As regiões de estabilidade com soluções foram simulados com espaçamento (passo) para ω incrementado de 0.25 e $\omega \in [-4,4]$. As rotações uniformes com alguns valores para o ω são mostrados na Figuras 2 - 5 e mostram o comportamento do sistema. Quando $\omega=-1$ não tem soluções e $\omega=1$ tem um pequeno *range* estável, como mostrado na Tabela 1.

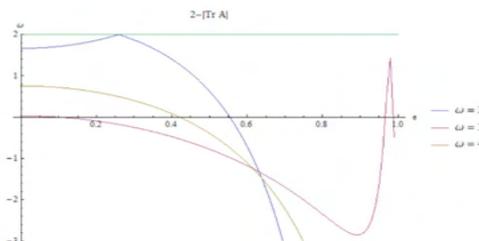


Figura 4 - Região de Estabilidade para $\omega=\{2;3,4\}$

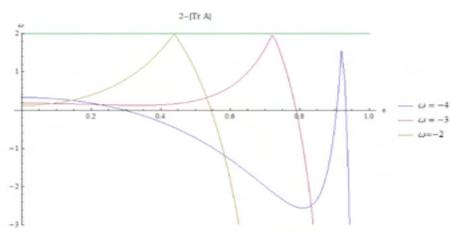


Figura 5 - Região de Estabilidade para $\omega=\{-4; -3; -2\}$

4 | CONCLUSÃO

As rotações uniformes de um halteres são consideradas no presente estudo, bem como a análise de estabilidade e as leis de controle viáveis. As simulações computacionais mostraram que em alguns casos é possível obter soluções em forma analítica e formas fechadas e em outros casos apenas soluções numéricas para o controle do sistema de tethers.

O resultado mostrou que pequenas perturbações não afetam o comportamento do sistema e foram encontradas regiões de estabilidade para vários valores de excentricidade para órbitas elípticas no caso de rotações uniformes.

AGRADECIMENTOS

Trabalho vinculado aos projetos FAPESP #2017/04643-4 e #2019/17702-4.

REFERÊNCIAS

- ARTSUTANOV, Y. N. Into the Cosmos without Rockets. **Znanije-Sila** 7, [s. l.], v. 25, 1969.
- ASLANOV, S. V.; MISRA, A. K.; YUDINTSEV, V. V. Chaotic attitude motion of a low-thrust tug-debris tethered system in a Keplerian orbit. **Acta Astronautica**, [s. l.], v. 139, p. 419–427, 2017.
- ASLANOV, V.; LEDKOV, A.; MISRA, A.; GUERMAN, A. D. Dynamics of Space Elevator After Tether Rupture. **Journal of Guidance Control and Dynamics**, [s. l.], v. 36, p. 986–992, 2013.
- BAINUM, P. M.; KUMAR, V. K. Optimal control of the Shuttle-Tethered-Subsatellite system. **Acta Astronautica**, [s. l.], v. 7, n. 12, p. 1333–1348, 1980.

BELETSKY, V. ~V.; LEVIN, E. ~M. Books-Received - Dynamics of Space Tether Systems. **Science**, [s. l.], v. 262, p. 1462, 1993.

BIRKHOFF, G. D. **Dynamical Systems**. [s.l.] : American Mathematical Society, 1927.

BUROV, A. A.; GUERMAN, A. D.; KOSENKO, I. I.; NIKONOV, V. I. Tethered spacecraft in asteroid gravitational environment. **Acta Astronautica**, [s. l.], v. 143, p. 126–132, 2018.

BUROV, A. A.; KOSENKO, I. I. On relative equilibria of an orbital station in regions near the triangular libration points. **Doklady Physics**, [s. l.], v. 52, n. 9, 2007.

BUROV, A. A.; PASCAL, M.; SLEPANOV, S. Y. The Gyroscopic stability of the triangular stationary solutions of the generalized planar three-body problem. **Prikladnaya Matematika i Mekhanika**, [s. l.], v. 64, n. 5, p. 761–771, 2000.

BUROV, A. A.; TROGER, H. The relative equilibria of an orbital pendulum suspended on a tether. **Journal of Applied Mathematics and Mechanics**, [s. l.], v. 64, n. 5, p. 723–728, 2000.

BUROV, A.; KONONOV, O. I.; GUERMAN, A. D. Relative equilibria of a Moon - tethered spacecraft. **Advances in the Astronautical Sciences**, [s. l.], v. 136, p. 2553, 2011.

CARTMELL, M. P.; MCKENZIE, D. J. A review of space tether research. **Progress in Aerospace Sciences**, [s. l.], v. 44, n. 1, p. 1–21, 2008.

CHOBOTOV, V. A.; MAINS, D. L. Tether Satellite System collision study. **Acta Astronautica**, [s. l.], v. 44, n. 7, 1999.

FERREIRA, A. F. S. et al. Equilibrium Conditions for Tethered Satellite Constellations. **Advances in the Astronautical Sciences**, [s. l.], v. 162, n. 1, p. 289–294, 2018. a.

FERREIRA, A. F. S.; BUROV, A. A.; GUERMAN, A. D.; PRADO, A. F. B. A.; NIKONOV, V. I. Stationary configurations of space tether anchored on smaller primary in three-body problem. **Acta Astronautica**, [s. l.], v. 160, p. 572–582, 2019.

FERREIRA, A. F. S.; PRADO, A. F. B. A.; GUERMAN, A. D.; SANTOS, D. P. S.; BUROV, A.; WINTER, O. C. Dynamics of a space tether in binary asteroids. In: **Advances In The Astronautical Sciences 2018b**, Univelt Inc., 2018.

FERREIRA, A. F. S.; PRADO, A. F. B. A.; GUERMAN, A. D.; SANTOS, D. P. S.; BUROV, A.; WINTER, O. C. Using tethers to build a “capture portal” for the planets. In: **Advances In The Astronautical Sciences 2018c**.

FERREIRA, A. F. S.; PRADO, A. F. B. A.; WINTER, O. C. Planar powered Swing-By maneuvers to brake a spacecraft. **Computational and Applied Mathematics**, [s. l.], v. 37, n. S1, p. 202–219, 2018.

FERREIRA, A. F. S.; PRADO, A. F. B. A.; WINTER, O. C.; SANTOS, D. P. S. Effects of the eccentricity of the primaries in powered Swing-By maneuvers. **Advances in Space Research**, [s. l.], v. 59, n. 8, p. 2071–2087, 2017.

FERREIRA, A. F. S.; PRADO, A. F. B. A.; WINTER, O. C.; SANTOS, D. P. S. Analytical study of the powered Swing-By maneuver for elliptical systems and analysis of its efficiency. **Astrophysics and Space Science**, [s. l.], v. 363, n. 7, p. 145, 2018. d.

JIN, D. P.; HU, H. Y. Optimal Control of a Tethered Subsatellite of Three Degrees of Freedom. **Nonlinear Dynamics**, [s. l.], v. 46, n. 1–2, p. 161–178, 2006.

KALANTZIS, S.; MODI, V. J.; PRADHAN, S.; MISRA, A. K. Dynamics and control of multibody tethered systems. **Acta Astronautica**, [s. l.], v. 42, n. 9, p. 503–517, 1998.

MISRA, A. K. Dynamics and control of tethered satellite systems. **Acta Astronautica**, [s. l.], v. 63, n. 11–12, p. 1169–1177, 2008.

MISRA, A. K.; AMIER, Z.; MODI, V. J. Attitude dynamics of three-body tethered systems. **Acta Astronautica**, [s. l.], v. 17, n. 10, p. 1059–1068, 1988.

MOIA, G. P.; SANTOS, D. P. S. Dos; FORMIGA, J. K. S. Tension force in nanosatellite tethers systems. **Journal of Physics: Conference Series**, [s. l.], v. 1365, n. 1, p. 012010, 2019.

PEARSON, J. Anchored Lunar Satellites For Cislunar Transportation And Communication. **J Astronaut Sci**, [s. l.], 1979.

SANTOS, D. P. S. Dos; BRITO, S. A. da R.; GUERMAN, A. D.; BUROV, A. A. Stability solutions of a dumbbell-like system in an elliptical orbit. In: JOURNAL OF PHYSICS: CONFERENCE SERIES 2015, **Anais...** [s.l: s.n.]

SANTOS, D. P. S. Dos; FERREIRA, A. S. Three-dimensional Two-Body Tether System: Equilibrium Solutions. **Journal of Physics: Conference Series**, [s. l.], v. 641, n. 1, p. 12009, 2015.

CONSTITUINTES E CONTAMINANTES MINERAIS EM SUPLEMENTOS *WHEY PROTEIN*: ESTUDO DE CASO E ESTRATÉGIAS PARA ANÁLISE QUÍMICA

Data de aceite: 01/11/2021

Thalles Pedrosa Lisboa

Universidade Federal de Juiz de Fora,
Departamento de Química
Juiz de Fora – MG
<http://lattes.cnpq.br/2845084446372654>

Antonio Pedro Nogueira Guimarães

Universidade Federal de Juiz de Fora,
Departamento de Química
Juiz de Fora – MG
<http://lattes.cnpq.br/4838760781433390>

Lucas Vinícius de Faria

Universidade Federal de Juiz de Fora,
Departamento de Química
Juiz de Fora – MG
<http://lattes.cnpq.br/0763553462778298>

Rafael Arromba de Sousa

Universidade Federal de Juiz de Fora,
Departamento de Química
Juiz de Fora – MG
<http://lattes.cnpq.br/8233487906167587>

RESUMO: Neste capítulo foram destacados os principais estudos envolvendo técnicas espectrométricas para a avaliação dos níveis de elementos minerais (constituintes e contaminantes) em amostras de suplementos para atletas. Foi possível evidenciar os teores de macronutrientes (Na, K, Mg e Ca) e micronutrientes (Fe, Zn, Mn, Cr, Se, Mo e Cu) com valores discordantes das informações nutricionais tabeladas nos rótulos. Em alguns

casos, foi verificada ainda a presença de metais tóxicos à saúde dos consumidores (Cd, Pb, As e Hg). De maneira geral, os teores encontrados apresentaram-se em conformidade com a legislação brasileira. Entretanto, considerando que geralmente os suplementos são utilizados sem orientação profissional adequada e por períodos prolongados, a médio e longo prazo o consumo pode desencadear problemas à saúde, uma vez que os metais tóxicos detectados apresentam caráter bioacumulativo. Nos últimos anos, a indústria tem buscado soluções tecnológicas para avaliar adulteração da matéria prima e do produto final, além de métodos de processamento que possibilitem o acompanhamento e controle da composição mineral desses suplementos. Além disso, foram sumarizadas as carências na literatura científica como análise de especificação, estudos de bioacessibilidade e biodisponibilidade dos minerais, análise de risco à saúde e métodos de rotina para controle de qualidade com baixo custo analítico.

PALAVRAS-CHAVE: Suplementos; Micronutrientes minerais; Metais pesados; *Whey protein*; Composição química.

MINERAL CONSTITUENTS AND CONTAMINANTS IN WHEY PROTEIN SUPPLEMENTS: CASE STUDY AND STRATEGIES FOR CHEMICAL ANALYSIS

ABSTRACT: In this chapter the main studies involving spectrometric techniques for the assessment of mineral levels (constituents and contaminants) in supplements samples for athletes were highlighted. It was possible to evidence the macronutrients (Na, K, Mg and Ca)

and micronutrients levels (Fe, Zn, Mn, Cr, Se, Mo and Cu) with values that discording to the nutritional information tabulated on the labels. In some cases, the presence of toxic metals to the consumers health (Cd, Pb, As and Hg) was also verified. In general, the contents found were in accordance with Brazilian legislation. However, considering that supplements are generally used without adequate professional guidance and for prolonged periods, in the medium and long term, consumption can trigger health problems, since the toxic metals detected have a bioaccumulative character. In recent years, the industry has sought technological solutions to evaluate adulteration of the raw material and the final product, as well as processing methods that enable the monitoring and control of the mineral composition of these supplements. Furthermore, the deficiencies in the scientific literature were summarized, such as speciation analysis, studies of minerals bioaccessibility and bioavailability, health risk analysis and routine methods for quality control with low analytical cost.

KEYWORDS: Supplements; Mineral micronutrients; Heavy metals; Whey protein; Chemical composition.

1 | INTRODUÇÃO

A preocupação com a aparência, a procura de um corpo saudável e esteticamente agradável e a alimentação diferenciada é uma herança decorrente da clássica Grécia antiga, que atualmente atinge todas as faixas etárias, independentemente do sexo ou classe social (APPLEGATE; GRIVETTI, 1997). A partir do Renascimento com a redescoberta da arte clássica, os corpos esculpidos em mármore definem o padrão ideal (GOSTON; TOULSON DAVISSON CORREIA, 2010).

Desde então, o homem tem se empenhado em melhorar seu desempenho esportivo por meio de alterações dietéticas. Embora a condução de uma alimentação equilibrada e variada ofereça todos os nutrientes necessários para os processos fisiológicos e para o crescimento de um indivíduo (FERRAZ; RAMALHO; IMADA; MARTINS, 2015; GOSTON; TOULSON DAVISSON CORREIA, 2010), o ritmo de vida moderno promoveu diversas mudanças nos hábitos alimentares comprometendo sua qualidade. Com a redução de ingestão de uma dieta variada, equilibrada e muitas vezes saudável, deficiências nutricionais começaram a ser observadas (KREJČOVÁ; LUDVÍKOVÁ; ČERNOHORSKÝ; POUZAR, 2012) e a fim de suprir essa necessidade, os suplementos alimentares surgiram há aproximadamente quatro décadas. Nos últimos anos, tem sido observado um aumento significativo no consumo desses suplementos alimentares e vitaminas (BRIZIO; BENEDETTO; SQUADRONE; TARASCO *et al.*, 2013; MARRERO; REBAGLIATI; LEIVA; LONDONIO *et al.*, 2013), de forma que os valores envolvidos no mercado mundial no ano de 2020 aproximaram-se de 110 bilhões de dólares (EUROMONITOR, 2019).

Inicialmente, os suplementos foram projetados para auxiliar na redução de quaisquer deficiências possíveis ou existentes na dieta e também para otimizar a performance humana em quaisquer níveis (LINHARES; LIMA, 2006). Neste sentido, as definições legais dos suplementos alimentares vêm mudando ao longo dos anos a fim de atender a

evolução tecnológica dos produtos inseridos no mercado. A agência de regulamentação americana, *Food and Drug Administration* (FDA), define os suplementos como produtos que pretendem completar a dieta e que contém um ou mais dos seguintes ingredientes: vitaminas, minerais, ervas ou outros componentes botânicos, aminoácidos, ou qualquer combinação destes ingredientes (FDA, 1994). Para a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), segundo a Portaria nº 32 de 1998, são alimentos que servem para completar o valor nutricional da dieta diária de uma pessoa saudável (BRASIL, 1998). Atualmente a ANVISA promoveu a criação de uma categoria específica de suplementos alimentares, por meio da Resolução da Diretoria Colegiada nº 243, de 2018, para garantir o acesso da população a produtos seguros e de qualidade (BRASIL, 2018). Nessa Resolução define-se que os suplementos alimentares não são medicamentos e, por isso, não servem para tratar, prevenir ou curar doenças.

Dentre a amplitude de produtos comercializados, destacam-se aqueles usados para suplementação de atletas, classificados de acordo com a ANVISA como: *i)* hidroeletrólitos; *ii)* energéticos (carboidratos como maltodextrina, dextrose e ribose); *iii)* proteicos; *iv)* substitutos parciais de refeições; *v)* de creatina; e, *vi)* predominante em cafeína e chá verde, i.e. termogênicos (BRASIL, 2010). Entretanto, os suplementos a base de proteínas do soro do leite, popularmente conhecidos como *whey protein* (WP), são os mais comercializados no mercado de nutrição esportiva (HARTMANN; SIEGRIST, 2016; PINTO; FERREIRA; ALMEIDA, 2020). Eles se destacam dentre a ampla gama de suplementos proteicos, devido ao seu alto valor nutricional quando comparados a outras fontes de proteínas (DEETH; BANSAL, 2019). Além disso, esses suplementos podem conter minerais e/ou vitaminas em sua composição, contribuindo para a manutenção de uma dieta equilibrada (ALMEIDA; DE SOUZA; CESAR; SOUSA *et al.*, 2016; PEREIRA; CRIZEL; LA ROSA NOVO; DOS SANTOS *et al.*, 2019).

O soro de leite é um subproduto da produção de queijo, composto por água (aproximadamente 85-90%) e uma fração sólida (lactose, lipídios, minerais e proteínas) (DE CASTRO; DOMINGUES; OHARA; OKURO *et al.*, 2017). Usualmente era empregado como ração animal e/ou descartado. Porém, com o aumento da produção de queijos, as grandes quantidades de soro se tornaram um problema. Nesse sentido, diversas mudanças políticas e diretrizes legislativas tendo como foco a preocupação com a poluição ambiental foram impostas em vários países. Na década de 1960 o soro de leite era seco em secadores de rolo para produzir o que ficou conhecido como “soro de pipoca”, produto vendido como ração animal. A partir da década de 1970, processos de pré-concentração através de filtração por membrana foram introduzidos e ao longo da década de 1980 os secadores de rolo foram substituídos por evaporadores e secadores em spray, processos empregados até hoje (PRICE, 2019).

As proteínas do leite, incluindo as do soro, além de seu alto valor biológico, possuem peptídeos bioativos, que atuam como agentes antimicrobianos, anti-hipertensivos,

reguladores da função imune assim como fatores do crescimento (HARAGUCHI; ABREU; PAULA, 2006). As proteínas do soro do leite, ou soro-proteínas, são constituídas principalmente por beta-lactoglobulina (BLG), alfa-lactoalbumina (ALA), albumina do soro bovino (BSA) e imunoglobulinas (Ig's).

A BLG é o peptídeo do soro mais abundante (45-57%) e apresenta o maior teor de aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA) (DEETH; BANSAL, 2019; O'MAHONY; FOX, 2013). A ALA (15-25%), caracteriza-se por ser de fácil e rápida digestão. Possui capacidade de se ligar a certos minerais, como cálcio e zinco, o que pode afetar positivamente sua absorção (DEETH; BANSAL, 2019). Já a BSA corresponde a cerca de 10% das proteínas do soro do leite, possui afinidade por ácidos graxos livres e outros lipídeos, favorecendo seu transporte na corrente sanguínea (FARRELL; JIMENEZ-FLORES; BLECK; BROWN *et al.*, 2004). Por fim, as Ig's são proteínas de alto peso molecular e suas principais ações biológicas residem na imunidade passiva e atividade antioxidante (HURLEY; THEIL, 2013).

Os suplementos de proteínas do soro do leite geralmente são comercializados em três formas: concentrado de WP, isolado de WP e hidrolisado de WP. A primeira apresenta em sua formulação lactose e gordura além do conteúdo variável de proteína (29-89%); enquanto que a segunda apresenta 90% de proteína em sua composição e a forma hidrolisada é uma formulação contendo proteínas semidigeridas (KELLY, 2019).

O fraco controle de qualidade, a fiscalização inadequada associada à diversidade de produtos a base de WP e o consumo realizado sem acompanhamento profissional adequado, combinado com outros produtos e, até mesmo, em doses excessivas, pode expor os consumidores a produtos de qualidade duvidosa (KORFALI; HAWI; MROUEH, 2013; LINHARES; LIMA, 1969). Em 2014, o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) publicou um relatório de análise de 15 amostras de diferentes marcas de suplementos proteicos para atletas. Foram realizados testes, como por exemplo: teor de proteínas e carboidratos, e origem proteica. Dentre as marcas avaliadas, apenas uma foi considerada em conformidade com as informações nutricionais dispostas em seus rótulos (INMETRO, 2014). Neste sentido, é pertinente imaginar que possa haver inconformidades em suplementos a base de WP também no que tange sua composição mineral, sejam constituintes ou contaminantes.

Nessa perspectiva, diferentes estratégias têm sido utilizadas para realizar análises químicas de suplementos a base de WP. Nesse capítulo, iremos abordar sobre os métodos usualmente empregados para o preparo de amostras, análise elementar e os resultados relatados pela literatura científica para essas amostras nos últimos dez anos.

2 | CONSTITUINTES E CONTAMINANTES INORGÂNICOS EM SUPLEMENTOS WHEY PROTEIN

Poucos estudos envolvendo o desenvolvimento de métodos de análise de

suplementos para atletas a base de WP têm sido publicados na literatura científica. Nesse sentido, iniciaremos as discussões sobre os constituintes e contaminantes inorgânicos presentes em matrizes correlatas como alternativa de contextualizar a presença desses elementos em amostras que apresentam composição semelhante.

Alguns trabalhos evidenciam a presença de micronutrientes minerais em amostras de leite, soro de leite e outros derivados lácteos. Dessa forma, Bilge *et al.* avaliaram a presença de Na, Mg, K, Ca, Fe, Zn e P em 36 amostras de leite em pó e soro de leite em pó comercializadas na Turquia utilizando como técnicas analíticas instrumentais a espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser (LIBS, do inglês *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*) e a espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, do inglês *Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) (BILGE; SEZER; ESELLER; BERBEROGLU *et al.*, 2016). O objetivo do trabalho foi estabelecer um método associado a análise multivariada para discriminar amostras de leite em pó de amostras de soro de leite em pó com base na composição mineral dessas e assim verificar processos de adulteração em produtos comerciais. De maneira geral, embora alguns fatores como estação do ano, origem geográfica e espécie animal afetam as composições minerais, essas diferenças não são significativas quando feita a comparação entre o leite em pó e o soro de leite doce e ácido em pó e soro de leite desmineralizado em pó.

Tedesco *et al.* avaliaram 261 amostras de soro de leite de vaca e de cabra oriundas da Itália usando como técnica analítica ICP-MS, para determinação de 17 elementos-traço e 14 elementos de terras raras (TEDESCO; VILLOSLADA HIDALGO; VARDÈ; KEHRWALD *et al.*, 2021). Verificou-se que para ambas as amostras, os micronutrientes majoritários são Fe, Cu, Zn, Se e Sr. De maneira geral, a presença desses elementos pode estar correlacionada a processos de lixiviação dos utensílios utilizados para o processamento do leite e também como componente da ração utilizada para alimentação animal. Por outro lado, metais tóxicos como Pb, Cd, As e Ni não apresentaram níveis quantificáveis nas amostras.

Visando melhorar a qualidade do produto final, no que tange a composição mineral, Kostić *et al.* propuseram a adição de um hidrogel poliacrílico em soluções de concentrado proteico do leite, concentrado proteico do soro e albumina sérica bovina para avaliar a redução dos níveis de metais tóxicos (KOSTIĆ; PEŠIĆ; BARAC; STANOJEVIC *et al.*, 2014). As amostras de concentrado proteico do soro e albumina sérica bovina apresentaram níveis quantificáveis de metais tóxicos como Ni e Pb, reduzidos de forma significativa após o processo de tratamento com o hidrogel poliacrílico. Dessa forma, este processo tecnológico se mostra como uma ferramenta promissora para aplicações na indústria láctea.

Por outro lado, Moret *et al.* avaliaram os níveis de As, Cd, Hg e Pb em 33 amostras de suplementos de creatina comercializadas na Itália, usando ICP-MS como técnica analítica (MORET; PREVARIN; TUBARO, 2011). A creatina é um composto de aminoácidos presente nas fibras musculares, atua ativamente na síntese proteica e no aumento da resistência

muscular sendo amplamente utilizada por atletas. Os resultados obtidos indicaram a presença de Hg em concentrações que variaram de 0,05 a 0,19 mg kg⁻¹. Segundo o autor, apesar do valor estar em conformidade com a legislação, devido ao uso contínuo desse suplemento e o efeito bioacumulativo do mercúrio, esses resultados se mostram preocupantes e podem indicar riscos à saúde de consumidores.

Considerando os suplementos para atletas a base de WP propriamente ditos, podemos destacar alguns trabalhos reportados na literatura. Barone *et al.* desenvolveram um trabalho para comparar a composição nutricional, propriedades físico-químicas e perfil proteico de três diferentes ingredientes de concentrado de WP enriquecidos com ALA por diferentes técnicas (BARONE; MOLONEY; O'REGAN; KELLY *et al.*, 2020). Nesse trabalho, o perfil de micronutrientes minerais foi estudado usando a técnica instrumental ICP-MS. Foram avaliados os níveis de Ca, Cl, K, Mg, Na, P, Cu, Fe, Mn e Zn. Os resultados obtidos indicaram que as diferentes estratégias de enriquecimento do concentrado de WP com ALA alteram o perfil de minerais; entretanto, pôde-se destacar os níveis médios de Ca, K, Mg e Na nas amostras de concentrado de WP como 704, 1699, 106 e 427 mg (100 g)⁻¹, respectivamente.

Elgammal *et al.* utilizaram ICP OES e a espectrometria de absorção atômica com forno de grafite (GF AAS, do inglês *Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry*) para avaliar os níveis de Co, Ni, Sn, Cr, Cu, Mn, Zn, Fe, Al, Na, Ca, Mg, Pb, Cd e Hg em 26 diferentes amostras de suplementos a base de WP comercializadas no Egito (ELGAMMAL; KHORSHED; ISMAIL, 2019). Foram observadas diferenças significativas entre os valores medidos para alguns metais (como Na, Mn, Cr, Cu e Mg), enquanto outros mostraram apenas pequenas variações (Fe e Zn). Os níveis de Co em todas as amostras foram menores que o limite de detecção (LOD) ou abaixo do limite de quantificação (<LOQ). A concentração de Cd variou entre 0,022 e 0,335 mg kg⁻¹, enquanto a concentração de Pb variou entre 0,036 e 0,096 mg kg⁻¹. Além disso, todas as amostras foram consideradas livres de qualquer concentração detectável de Hg.

Por outro lado, Pinto *et al.* determinaram 26 elementos-traço (essenciais e tóxicos) por ICP-MS em 49 amostras de suplementos a base de WP comercializados em Portugal (PINTO; FERREIRA; ALMEIDA, 2020). Destaca-se o Fe como o elemento essencial mais abundante nas amostras com níveis variando de 0,61 a 83,6 mg kg⁻¹, seguido do Zn variando de 1,0 a 28,0 mg kg⁻¹, Mn variando de 0,06 a 19,2 mg kg⁻¹ e Cu variando de 0,37 a 10,5 mg kg⁻¹. Com relação aos elementos tóxicos, Cd, As, Pb e Hg, todos esses foram detectados. Os níveis de Cd variaram de 1,0 a 35,2 ng g⁻¹, de As de 3,5 a 20,1 ng g⁻¹, de Pb de 1,2 a 31,0 ng g⁻¹ e de Hg de 0,63 a 23,9 ng g⁻¹. Entretanto, foi realizada uma avaliação de segurança com base nos limites de exposição diária permitidos pela legislação europeia. De acordo com os cálculos reportados, o consumo diário de aproximadamente 50 g de suplemento WP não contribui com mais de 12,1% desses limites, para os elementos tóxicos avaliados. Dessa forma, os suplementos a base de WP estudados puderam ser considerados produtos

seguros, quanto à presença de elementos potencialmente tóxicos.

Com o objetivo de desenvolver um método baseado na digestão assistida por radiação micro-ondas sob pressão de oxigênio para determinar os níveis de Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn, P e S utilizando ICP OES, Pereira *et al.* avaliaram seis amostras de suplemento para atletas do tipo hipercalórico comercializadas no Brasil (PEREIRA; CRIZEL; LA ROSA NOVO; DOS SANTOS *et al.*, 2019). Hipercalóricos são suplementos compostos por carboidratos com índice glicêmico alto, geralmente maltodextrina, além de aminoácidos, lipídeos e proteínas de alto valor biológico. Os resultados obtidos foram alarmantes, pois ficaram discordantes com as informações nutricionais rotuladas. Apesar disso, considerando apenas a ingestão desses suplementos esportivos, as concentrações dos micronutrientes estudados não são suficientes para causar qualquer disfunção no organismo humano em curto espaço de tempo considerando-se as recomendações dietéticas para esses elementos.

Lisboa *et al.* avaliaram os níveis de Cr e Mn por GF AAS em amostras de suplementos a base de WP, suplementos do tipo hipercalórico e barras de suplemento de proteína (LISBOA; FLORES; CORREA; SOUSA, 2020) e os níveis de Na e K por espectrometria de emissão atômica com chama, fotometria de chama (F AES, do inglês *Flame Atomic Emission Spectrometry*) para as mesmas amostras (LISBOA; SOUSA, 2020). Foram estudadas 26 diferentes amostras de suplementos comercializados no Brasil. Os níveis de Cr variaram de 0,22 a 1,04 mg kg⁻¹, enquanto os níveis de Mn variaram de 2,00 a 37,4 mg kg⁻¹. Em geral, as concentrações de Na foram elevadas em relação às indicações da Organização Mundial da Saúde (OMS), considerando-se as porções indicadas para consumo. Entretanto, a razão entre as concentrações de Na e K tem uma associação mais forte com a hipertensão incidente do que a ingestão isolada de Na ou K. Para razões Na/K altas, o risco de hipertensão é maior do que em razões menores (DU; BATIS; WANG; ZHANG *et al.*, 2014), e de acordo com a OMS, essa proporção em dietas saudáveis deve permanecer menor ou igual a 1. Nesse sentido, algumas das amostras apresentaram resultados com valores de razões próximas ou ligeiramente superiores e, nesses casos, deve-se considerar que os nutrientes Na e K também são obtidos por meio de outras fontes alimentares, e assim, os suplementos podem sim representar riscos para o equilíbrio desses eletrólitos.

Almejando verificar as frações bioacessíveis de micronutrientes minerais em amostras de suplementos para atletas, Nogueira desenvolveu um método para avaliar os níveis de Cr e Mn nessas frações por meio do método de solubilidade (digestão simulada *in vitro*) e empregou a GF AAS como técnica instrumental analítica (GUIMARÃES, 2018). A bioacessibilidade é conceituada como a fração disponível para a absorção (ensaio *in vitro*) de um composto que apresenta solubilidade no trato gastrointestinal (ETCHEVERRY; GRUSAK; FLEIGE, 2012). Nesse método, as condições gastrointestinais como pH, temperatura, tempo de ação de enzimas digestivas são simuladas. As frações bioacessíveis calculadas para o Cr variaram de 12,2 a 49,4%, enquanto que para o Mn, variaram de 5,9 a 99,5%.

Para exemplificar os níveis de concentrações que os elementos minerais e contaminantes foram encontrados nesses trabalhos, acima mencionados, resultados quantitativos foram resumidos na Tabela 1.

Amostra	Elementos avaliados	Preparo de amostra	Técnica instrumental	Concentrações em mg kg ⁻¹	Referência
Concentrado de WP	Ca, K, Mg, Na, Cu, Fe, Mn e Zn	MWAD	ICP-MS	Ca (7040 ± 48,8), K (16990 ± 140), Mg (1060 ± 7,8), Na (4270 ± 31,8), Cu (0,5 ± 0,1), Fe (2,5 ± 0,1), Mn (0,7 ± 0,1) e Zn (3,2 ± 0,1)	(BARONE; MOLONEY; O'REGAN; KELLY <i>et al.</i> , 2020)
WP	Co, Ni, Sn, Cr, Cu, Mn, Zn, Fe, Al, Na, Ca, Mg, Pb, Cd e Hg	MWAD	ICP OES e GF AAS	Co (<LOQ), Ni (0,231 – 0,927), Sn (0,234 – 0,502), Cr (0,501 – 0,685), Cu (2,08 – 16,78), Mn (0,214 – 14,37), Zn (1,08 – 66,11), Fe (2,79 – 40,14), Al (5,43 – 16,26), Na (240 – 5336), Ca (712,5 – 12860), Mg (169,3 – 3248), Pb (0.036 – 0,096), Cd (0,022 – 0,335) e Hg (<LOD)	(ELGAMMAL; KHORSHED; ISMAIL, 2019)
Suplementos a base de WP	Fe, Zn, Mn, Cu, Mo, Cr, Se, Co, Al, Ni, Cd, As, Pb e Hg	MWAD	ICP-MS	Fe (0,61 – 83,6), Zn (1,0 – 28,0), Mn (0,06 – 19,2), Cu (0,37 – 10,5), Mo (0,06 – 1,71), Cr (0,14 – 1,27), Se (0,12 – 0,72), Co (0,01 – 0,13), Al (0,16 – 18,7), Ni (0,06 – 1,26) e Cd (1,0 – 35,2)*, As (3,5 – 20,1)*, Pb (1,2 – 31,0)* e Hg (0,63 – 23,9)*	(PINTO; FERREIRA; ALMEIDA, 2020)
Suplementos hipercalórico	Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Zn, P e S	MWAD-O ₂ P	ICP OES	Ca (11,3 – 2940), Cu (0,481 – 2,68), Fe (2,90 – 46,7), K (155 – 2361), Mg (25,7 – 826), Mn (0,136 – 9,8), Na (832 – 2481), Zn (0,352 – 18,4), P (864 – 2595) e S (441 – 2932)	(PEREIRA; CRIZEL; LA ROSA NOVO; DOS SANTOS <i>et al.</i> , 2019)
WP, hipercalórico e suplementos em barra de proteína	Cr e Mn	MWAD	GF AAS	Cr (0,22 – 1,04) e Mn (2,00 – 37,4)	(LISBOA; FLORES; CORREA; SOUSA, 2020)
	Na e K		F AES	Na (295 – 5910) e K (471 – 12900)	(LISBOA; SOUSA, 2020)
	Cr e Mn	MWAD	GF AAS	Cr (12,2 – 49,4)% e Mn (5,9 – 99,5)%	(GUIMARÃES, 2018)

* ng g⁻¹. MWAD: Digestão ácida em forno micro-ondas; MWAD-O₂P: Digestão em forno micro-ondas usando ácido diluído sob pressão de oxigênio.

Tabela 1 – Exemplos representativos de métodos reportados na literatura científica para o monitoramento de constituintes e contaminantes minerais em amostras de suplementos e produtos derivados de WP.

3 | PERSPECTIVAS NA ANÁLISE DE CONSTITUINTES E CONTAMINANTES MINERAIS EM SUPLEMENTOS PARA ATLETAS

Diversos estudos acadêmicos têm mostrado que a variedade de marcas e produtos

disponíveis no mercado nacional associados à facilidade de acesso e promessas de efeitos milagrosos são agentes impulsionadores do aumento de consumo de suplementos para atletas a base de WP. Nesse sentido, é conveniente estabelecer critérios de identidade e qualidade desses produtos a fim de garantir o bem estar e saúde dos consumidores, inclusive no que tange a composição mineral.

Porém, o que se observa de maneira geral é que as normativas vigentes têm pouco efeito sem fiscalização constante e, dessa forma, produtos de qualidade desconhecida estão sendo comercializados. Uma das razões pelas quais a fiscalização é falha pode ser em virtude das metodologias oficiais de análise, que requerem profissionais extremamente qualificados, além de instrumentação e consumíveis onerosos.

Assim, as técnicas eletroanalíticas vêm demonstrando ser ferramentas analíticas promissoras alternativas às técnicas espectrométricas que são mais convencionais. Tais técnicas podem ser empregadas para a determinação de diversos minerais e, até mesmo, componentes orgânicos (o que as primeiras não permitem) em vários tipos de amostras, inclusive as de alimentos (PALISOC; GONZALES; PARDILLA; RACINES *et al.*, 2019; SHAHBAZI; AHMADI; FAKHARI, 2016). As mesmas apresentam características adequadas, tais como, baixo custo instrumental, alta sensibilidade e portabilidade, permitindo até mesmo, análises em campo (SQUISSATO; ROCHA; ALMEIDA; RICHTER *et al.*, 2018). Além disso, essas técnicas podem possibilitar análises de especiação química de diversos elementos presentes nas amostras (HAN; PAN, 2021).

Neste contexto, é importante destacar que a literatura científica ainda carece de estudos envolvendo não somente a especiação química de elementos como o cromo (SARAIVA; CHEKRI; GUÉRIN; SLOTH *et al.*, 2021; UNCETA; ASTORKIA; ABREGO; GÓMEZ-CABALLERO *et al.*, 2016), mas também a avaliação das frações bioacessíveis e biodisponíveis de seus nutrientes, assim como a análise de risco desses produtos à saúde (BANDARA; TOWLE; MONNOT, 2020; PARDO; GARICANO VILAR; SAN MAURO MARTÍN; CAMINA MARTÍN, 2021; TOKALIOĞLU; CLOUGH; FOULKES; WORSFOLD, 2014). Estes estudos seriam importantes para estabelecer informações nutricionais mais completas, norteando os processos tecnológicos de produção e auxiliando os profissionais da saúde a, possivelmente, prescrever os suplementos de acordo essas informações, permitindo usos mais efetivos.

4 | CONCLUSÕES

Apesar de as pesquisas recentes indicarem que o consumo de suplementos tem aumentado significativamente nos últimos anos, poucos trabalhos são reportados para investigação dos teores de constituintes e contaminantes minerais em amostras de suplementos a base de WP, seja no Brasil ou em outros países.

Além disso, dentre as informações disponíveis na literatura científica, verificam-

se diferenças significativas entres os teores de micronutrientes presentes nas amostras e os valores informados em suas tabelas nutricionais. De maneira geral, a fortificação de suplementos com micronutrientes minerais parece ser realizada com maior interesse publicitário do que nutricional. Assim, os produtos com baixo controle de qualidade associados a uma fiscalização ineficiente, podem desencadear efeitos tóxicos e indesejáveis à saúde dos consumidores.

Neste sentido pode-se afirmar que ainda há demandas de estudos acadêmicos e clínicos voltados à qualidade e a forma de uso desses suplementos. Do ponto de vista químico, o que foi abordado neste capítulo, salienta que novos estudos precisam investigar a composição nutricional dos suplementos, considerando aspectos de especiação química, bioacessibilidade, biodisponibilidade, conforme já mencionado. Somente assim será possível avaliar a real necessidade de etapas na produção, como a adição de minerais e, eventualmente, estabelecer o uso de matérias-primas com composição elementar mais específicas e controladas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. R.; DE SOUZA, L. P.; CESAR, R. S.; SOUSA, R. A. *et al.* Investigation of sport supplements quality by Raman spectroscopy and principal component analysis. **Vibrational Spectroscopy**, 87, p. 1-7, 2016/11/01/ 2016.

APPLEGATE, E. A.; GRIVETTI, L. E. Search for the Competitive Edge: A History of Dietary Fads and Supplements. **The Journal of Nutrition**, 127, n. 5, p. 869S-873S, 1997.

BANDARA, S. B.; TOWLE, K. M.; MONNOT, A. D. A human health risk assessment of heavy metal ingestion among consumers of protein powder supplements. **Toxicology Reports**, 7, p. 1255-1262, 2020/01/01/ 2020.

BARONE, G.; MOLONEY, C.; O'REGAN, J.; KELLY, A. L. *et al.* Chemical composition, protein profile and physicochemical properties of whey protein concentrate ingredients enriched in α -lactalbumin. **Journal of Food Composition and Analysis**, 92, p. 103546, 2020/09/01/ 2020.

BILGE, G.; SEZER, B.; ESELLER, K. E.; BERBEROGLU, H. *et al.* Determination of whey adulteration in milk powder by using laser induced breakdown spectroscopy. **Food Chemistry**, 212, p. 183-188, 2016/12/01/ 2016.

BRASIL. Regulamento Técnico para Fixação de Identidade e Qualidade de Suplementos Vitaminicos e ou de Minerais. **Ministério da Saúde**, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, pp.

BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada: Dispõe sobre alimentos para atletas. **Ministério da Saúde**, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, pp.

BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada: Dispõe sobre os requisitos sanitários dos suplementos alimentares. **Ministério da Saúde**, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, pp.

BRIZIO, P.; BENEDETTO, A.; SQUADRONE, S.; TARASCO, R. *et al.* Heavy metals occurrence in Italian food supplements. **E3S Web of Conferences**, 1, p. 15006, 2013.

DE CASTRO, R. J. S.; DOMINGUES, M. A. F.; OHARA, A.; OKURO, P. K. *et al.* Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications. **Food Structure**, 14, p. 17-29, 2017/10/01/ 2017.

DEETH, H.; BANSAL, N. Chapter 1 - Whey Proteins: An Overview. *In*: DEETH, H. C. e BANSAL, N. (Ed.). **Whey Proteins**: Academic Press, 2019. p. 1-50.

DU, S.; BATIS, C.; WANG, H.; ZHANG, B. *et al.* Understanding the patterns and trends of sodium intake, potassium intake, and sodium to potassium ratio and their effect on hypertension in China. **Am J Clin Nutr**, 99, n. 2, p. 334-343, Feb 2014.

ELGAMMAL, S. M.; KHORSHED, M. A.; ISMAIL, E. H. Determination of heavy metal content in whey protein samples from markets in Giza, Egypt, using inductively coupled plasma optical emission spectrometry and graphite furnace atomic absorption spectrometry: A probabilistic risk assessment study. **Journal of Food Composition and Analysis**, 84, p. 103300, 2019/12/01/ 2019.

ETCHEVERRY, P.; GRUSAK, M. A.; FLEIGE, L. E. Application of in vitro bioaccessibility and bioavailability methods for calcium, carotenoids, folate, iron, magnesium, polyphenols, zinc, and vitamins B(6), B(12), D, and E. **Front Physiol**, 3, p. 317, 2012.

EUROMONITOR. Vitamins and Dietary Supplements in Latin America. : Euromonitor International 2019.

FARRELL, H. M.; JIMENEZ-FLORES, R.; BLECK, G. T.; BROWN, E. M. *et al.* Nomenclature of the Proteins of Cows' Milk—Sixth Revision. **Journal of Dairy Science**, 87, n. 6, p. 1641-1674, 2004/06/01/ 2004.

FDA. Dietary Supplement Health and Education Act of 1994. **US Food and Drug Administration**, 103rd Congress, pp.

FERRAZ, B. d. S.; RAMALHO, A. A.; IMADA, K. S.; MARTINS, F. A. Consumo de suplementos alimentares por praticantes de atividade física em academias de ginástica: um artigo de revisão. **Journal of Amazon Health Science**, 1, n. 2, p. 24-43, 2015.

GOSTON, J. L.; TOULSON DAVISSON CORREIA, M. I. Intake of nutritional supplements among people exercising in gyms and influencing factors. **Nutrition**, 26, n. 6, p. 604-611, 2010/06/01/ 2010.

GUIMARÃES, A. P. N. **Determinação dos teores de cromo e manganês nas frações bioacessíveis de suplementos alimentares**. 2018. 87 f. (Mestrado em Química Analítica) - Departamento de Química, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

HAN, H.; PAN, D. Voltammetric methods for speciation analysis of trace metals in natural waters. **Trends in Environmental Analytical Chemistry**, 29, p. e00119, 2021/03/01/ 2021.

HARAGUCHI, F. K.; ABREU, W. C. d.; PAULA, H. d. Proteínas do soro do leite: composição, propriedades nutricionais, aplicações no esporte e benefícios para a saúde humana. **Revista de Nutrição**, 19, n. 4, p. 479-488, 2006.

HARTMANN, C.; SIEGRIST, M. Benefit beliefs about protein supplements: A comparative study of users and non-users. **Appetite**, 103, p. 229-235, 2016/08/01/ 2016.

HURLEY, W. L.; THEIL, P. K. Immunoglobulins in Mammary Secretions. *In*: MCSWEENEY, P. L. H. e FOX, P. F. (Ed.). **Advanced Dairy Chemistry: Volume 1A: Proteins: Basic Aspects, 4th Edition**. Boston, MA: Springer US, 2013. p. 275-294.

INMETRO. Relatório Final sobre a Análise em Suplementos Proteicos para Atletas - Whey Protein. PRODUTOS, P. d. A. d. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior: 54 p. 2014.

KELLY, P. Chapter 3 - Manufacture of Whey Protein Products: Concentrates, Isolate, Whey Protein Fractions and Microparticulated. *In*: DEETH, H. C. e BANSAL, N. (Ed.). **Whey Proteins**: Academic Press, 2019. p. 97-122.

KORFALI, S. I.; HAWI, T.; MROUEH, M. Evaluation of heavy metals content in dietary supplements in Lebanon. **Chemistry Central journal**, 7, n. 1, p. 10-10, 2013.

KOSTIĆ, A.; PEŠIĆ, M.; BARAC, M.; STANOJEVIC, S. *et al.* The Influence of the Addition of Polyacrylic Hydrogel on the Content of Proteins, Minerals and Trace Elements in Milk Protein Solutions. **Food Technology and Biotechnology**, 52, p. 128-134, 01/01 2014.

KREJČOVÁ, A.; LUDVÍKOVÁ, I.; ČERNOHORSKÝ, T.; POUZAR, M. Elemental analysis of nutritional preparations by inductively coupled plasma mass and optical emission spectrometry. **Food Chemistry**, 132, n. 1, p. 588-596, 2012/05/01/ 2012.

LINHARES, T. C.; LIMA, R. M. Prevalência do uso de suplementos alimentares por praticantes de musculação nas academias de Campos dos Goytacazes/RJ, Brasil. **Revista Vértices**, 8, n. 1/3, p. 101-122, 12/31 1969.

LINHARES, T. C.; LIMA, R. M. Prevalência do uso de suplementos alimentares por praticantes de musculação nas academias de Campos dos Goytacazes/RJ, Brasil. **Revista Vértices**, 8, n. 1/3, p. 101-122, 12/31 2006.

LISBOA, T. P.; FLORES, L. d. S.; CORREA, C. C.; SOUSA, R. A. d. Evaluation of Chromium and Manganese levels in sports supplements using graphite furnace atomic absorption spectrometry. **Revista de Nutrição**, 33, p. 13, 2020.

LISBOA, T. P.; SOUSA, R. A. d. Sodium and potassium content in sport supplements based on whey protein. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, 75, n. 1, p. 34-44, 2020.

MARRERO, J.; REBAGLIATI, R. J.; LEIVA, E.; LONDONIO, A. *et al.* Inductively coupled plasma optical emission spectrometric determination of fifteen elements in dietary supplements: Are the concentrations declared in the labels accurate? **Microchemical Journal**, 108, p. 81-86, 2013/05/01/ 2013.

MORET, S.; PREVARIN, A.; TUBARO, F. Levels of creatine, organic contaminants and heavy metals in creatine dietary supplements. **Food Chemistry**, 126, n. 3, p. 1232-1238, 2011/06/01/ 2011.

O'MAHONY, J. A.; FOX, P. F. Milk Proteins: Introduction and Historical Aspects. *In*: MCSWEENEY, P. L. H. e FOX, P. F. (Ed.). **Advanced Dairy Chemistry: Volume 1A: Proteins: Basic Aspects, 4th Edition**. Boston, MA: Springer US, 2013. p. 43-85.

PALISOC, S.; GONZALES, A. J.; PARDILLA, A.; RACINES, L. *et al.* Electrochemical detection of lead and cadmium in UHT-processed milk using bismuth nanoparticles/Nafion®-modified pencil graphite electrode. **Sensing and Bio-Sensing Research**, 23, p. 100268, 2019/04/01/ 2019.

PARDO, M. R.; GARICANO VILAR, E.; SAN MAURO MARTÍN, I.; CAMINA MARTÍN, M. A. Bioavailability of magnesium food supplements: A systematic review. **Nutrition**, 89, p. 111294, 2021/09/01/ 2021.

PEREIRA, R. M.; CRIZEL, M. G.; LA ROSA NOVO, D.; DOS SANTOS, C. M. M. *et al.* Multitechnique determination of metals and non-metals in sports supplements after microwave-assisted digestion using diluted acid. **Microchemical Journal**, 145, p. 235-241, 2019/03/01/ 2019.

PINTO, E.; FERREIRA, I. M. P. L. V. O.; ALMEIDA, A. Essential and non-essential/toxic trace elements in whey protein supplements. **Journal of Food Composition and Analysis**, 86, p. 103383, 2020/03/01/ 2020.

PRICE, J. Chapter 2 - History of the Development and Application of Whey Protein Products. *In*: DEETH, H. C. e BANSAL, N. (Ed.). **Whey Proteins**: Academic Press, 2019. p. 51-95.

SARAIVA, M.; CHEKRI, R.; GUÉRIN, T.; SLOTH, J. J. *et al.* Chromium speciation analysis in raw and cooked milk and meat samples by species-specific isotope dilution and HPLC-ICP-MS. **Food Additives & Contaminants: Part A**, 38, n. 2, p. 304-314, 2021/02/01 2021.

SHAHBAZI, Y.; AHMADI, F.; FAKHARI, F. Voltammetric determination of Pb, Cd, Zn, Cu and Se in milk and dairy products collected from Iran: An emphasis on permissible limits and risk assessment of exposure to heavy metals. **Food Chemistry**, 192, p. 1060-1067, 2016/02/01/ 2016.

SQUISSATO, A. L.; ROCHA, D. P.; ALMEIDA, E. S.; RICHTER, E. M. *et al.* Stripping Voltammetric Determination of Mercury in Fish Oil Capsules Using a Screen-printed Gold Electrode. **Electroanalysis**, 30, n. 1, p. 20-23, 2018/01/01 2018. <https://doi.org/10.1002/elan.201700570>.

TEDESCO, R.; VILLOSLADA HIDALGO, M. d. C.; VARDÈ, M.; KEHRWALD, N. M. *et al.* Trace and rare earth elements determination in milk whey from the Veneto region, Italy. **Food Control**, 121, p. 107595, 2021/03/01/ 2021.

TOKALIOĞLU, Ş.; CLOUGH, R.; FOULKES, M.; WORSFOLD, P. Bioaccessibility of Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Se and Zn from nutritional supplements by the unified BARGE method. **Food Chemistry**, 150, p. 321-327, 2014/05/01/ 2014.

UNCETA, N.; ASTORKIA, M.; ABREGO, Z.; GÓMEZ-CABALLERO, A. *et al.* A novel strategy for Cr(III) and Cr(VI) analysis in dietary supplements by speciated isotope dilution mass spectrometry. **Talanta**, 154, p. 255-262, 2016/07/01/ 2016.

CLASSIFICAÇÃO DE TRÁFEGO EM REDES DEFINIDAS POR SOFTWARE UTILIZANDO REDES NEURAS ARTIFICIAIS DO TIPO MLP

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 20/08/2021

Nilton Alves Maia

Universidade Estadual de Montes Claros –
UNIMONTES
Montes Claros – MG
lattes.cnpq.br/3101079034762740

Victor de Freitas Arruda

Universidade Estadual de Montes Claros –
UNIMONTES
Montes Claros – MG
lattes.cnpq.br/2982998121421530

Maurílio José Inácio

Universidade Estadual de Montes Claros –
UNIMONTES
Montes Claros – MG
lattes.cnpq.br/0404285515651967

Renê Rodrigues Velloso

Universidade Estadual de Montes Claros –
UNIMONTES
Montes Claros – MG
lattes.cnpq.br/5262545895128956

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo comparativo sobre algoritmos de otimização de uma Rede Neural Artificial do tipo MLP para a classificação de tráfego entrante em Redes Definidas por Software. As Redes Definidas por Software facilitam a implementação de técnicas de coleta global de dados de tráfego. A partir do conhecimento

gerado pela classificação do tráfego entrante na rede, torna-se possível a realocação dos recursos existentes, evitando sobrecargas e ataques maliciosos, além do oferecimento de qualidade de serviços às aplicações, dependendo da classe de tráfego dos fluxos transportados. Para a realização deste trabalho, os algoritmos ADAM, L-BFGS e SGD foram implementados em linguagem Python. Os algoritmos da MLP utilizaram momentum e taxas de aprendizado constante e adaptativa. Os desempenhos dos classificadores foram avaliados levando em conta os valores de acurácia, precisão, revocação e F1-score. O algoritmo ADAM obteve os melhores resultados quando foi utilizada a taxa de aprendizado constante. Por outro lado, o ADAM e o L-BFGS obtiveram resultados iguais no caso do uso da taxa de aprendizado adaptativa.

PALAVRAS-CHAVE: Redes Definidas por Software, Redes Neurais Artificiais, MLP, Classificação de Tráfego.

TRAFFIC CLASSIFICATION IN SOFTWARE-DEFINED NETWORKING USING MLP NEURAL NETWORKS

ABSTRACT: The aim of this work was to conduct a comparative study on optimization algorithms of a MLP Artificial Neural Network for the classification of incoming traffic of Software-Defined Networks. Software-Defined Networks facilitate the implementation of global traffic data collection techniques. From the knowledge generated by the classification of incoming traffic on the network, it is possible to reallocate existing resources, avoiding overloads, malicious

attacks, as well as offering quality services to applications, depending on the traffic class of the transported flows. To perform this work, the ADAM, L-BFGS and SGD algorithms were implemented in Python. MLP algorithms used momentum and constant and adaptive learning rates. The performances of the classifiers were evaluated taking into account the accuracy, precision, recall and F1-score values. The ADAM algorithm achieved the best results when the constant learning rate was used. On the other hand, ADAM and L-BFGS obtained equal results when using the adaptive learning rate.

KEYWORDS: Software Defined Networks, Artificial Neural Networks, MLP, Traffic Classification.

1 | INTRODUÇÃO

A internet se tornou essencial para a vida moderna, sendo utilizada em quase todo lugar e por praticamente todas as pessoas. Assim, é muito importante manter o funcionamento adequado das redes, que podem ser afetadas por ataques maliciosos, sobrecargas e diversos outros fatores.

Nesse contexto, há a necessidade de identificar corretamente e com alta acurácia as aplicações de rede. Essa identificação também conhecida como classificação, é usada para análise de tendência, marcação de tráfego de Qualidade de Serviço (QoS, *Quality of Service*) baseada em redes adaptativas, controle de acesso dinâmico (*firewalls* adaptativos que detectam aplicações não permitidas ou ataques), interceptação legal (Williams, Zander, & Armitage, 2016), realocação de recursos de redes e modelagem de perfil de usuários (Bisol, Silva, Machado, Granville, & Schaeffer-Filho, 2016).

A classificação simples, assumindo que a aplicação utiliza número de portas TCP ou UDP, faz com que a identidade da aplicação seja camuflada, uma vez que muitas aplicações novas utilizam de número de portas imprevisíveis. Na maioria das vezes, as técnicas de classificação de tráfego implantadas são baseadas na inspeção direta do conteúdo de cada pacote em algum ponto da rede. Quando pacotes contém a quintuple [tipo de protocolo, endereço IP fonte:porta e endereço IP destino:porta] iguais, eles são considerados pertencentes a um mesmo fluxo cuja aplicação se deseja determinar.

Nesse cenário, as Redes Definidas por Software (SDN, *Software Defined Networks*) eliminam diversas limitações e facilitam a criação de aplicações e serviços que gerenciem a entrada de fluxos na rede (Rothenberg, Nascimento, Salvador, & Magalhães, 2010). Com o melhor gerenciamento dos fluxos de entrada, a classificação do tráfego pode se tornar mais aprimorada. A SDN é uma arquitetura onde ocorre a separação entre os planos de dados e de controle, além de fornecer uma visão centralizada dos estados da rede (Akyildiz, Lee, Wang, Luo, & Chou, 2016). Com a separação dos planos, os comutadores se tornam simples dispositivos de encaminhamento de pacotes e a lógica de controle é implementada em um dispositivo denominado controlador, simplificando as políticas de reconfiguração e evolução da rede (Kreutz, et al., 2015). A idéia principal é que os desenvolvedores

possam utilizar os recursos de rede da mesma forma que os recursos de armazenamento e computação (Astuto, Mendonça, Nguyen, Obraczka, & Turletti, 2014). O controlador permite ainda a criação de uma camada de alto nível de abstração, possibilitando a programação dos serviços a serem configurados (Rodríguez, 2014).

Numa topologia genérica SDN, quando o primeiro pacote de um novo fluxo chega a um comutador na entrada da rede, ele ainda não tem pré-configurado um caminho em seu plano de dados que determine para onde encaminhar o pacote. Logo, o comutador envia uma consulta para o controlador, que calcula o caminho para o fluxo. Mediante um protocolo de comunicação apropriado, o controlador configurará o caminho no plano de dados de todos os equipamentos que fazem parte do trajeto, fazendo assim, o roteamento do pacote. Vale lembrar que os sucessivos pacotes do mesmo fluxo agora já têm pré-configurado o caminho no plano de dados e, assim, não precisam de uma nova consulta ao controlador.

Para a classificação dos fluxos de tráfego entrantes na topologia genérica SDN, pode-se utilizar diversas técnicas, especialmente algoritmos de aprendizado de máquina. Uma das possibilidades é utilizar a Rede Neural Artificial (RNA) do tipo MLP (*Multilayer Perceptron*). A MLP é uma generalização do perceptron, sendo constituída de uma camada de entrada, uma ou mais camadas ocultas de nós computacionais e uma camada de saída. Com exceção da camada de entrada todas as camadas realizam processamento dos dados (Souza, 2012). Nesse tipo de rede, cada uma das camadas tem funções específicas. Assim, cada neurônio computa uma soma ponderada de suas entradas e passa essa soma na forma de uma função não-linear limitada. Em nível de mesoestrutura, tem-se duas ou mais camadas com conexão *feedforward* (Vieira & Bauchspiess, 1999). De acordo com Duarte (2009), adicionando-se uma ou mais camadas intermediárias (ocultas), aumenta-se o poder computacional de processamento não-linear e armazenagem da rede. Em uma camada oculta, suficientemente grande, é possível representar, com exatidão, qualquer função contínua das entradas. O conjunto de saídas dos neurônios de cada camada da rede é utilizada como entrada para a camada seguinte.

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo comparativo dos algoritmos de otimização SGD (*Stochastic Gradient Descent*), L-BFGS (*Limited-Memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno*) e ADAM da Rede Neural Artificial do tipo MLP para a classificação do tráfego entrante em uma topologia SDN.

As próximas seções deste artigo são organizadas da seguinte maneira: na seção 2 são apresentados os trabalhos relacionados. Na seção 3 é apresentado o modelo de coleta e classificação do tráfego. A seção 4 apresenta os resultados obtidos com os experimentos. Por fim, na última seção são apresentadas as conclusões sobre o trabalho.

2 | TRABALHOS RELACIONADOS

No trabalho de Shafiq et al. (2016) foram utilizados quatro algoritmos de aprendizado de máquina para a classificação de tráfego: *Support Vector Machine* (SVM), árvore de decisão C4.5, *Naïve Bayes* e *Bayes Net*. Após a execução dos algoritmos foi constatado que o algoritmo C4.5 obteve melhores resultados com quase 80% de acurácia, seguido do SVM com 74%, *Naïve Bayes* com 72% e *Bayes Net* com 68%.

Ghafari, et al. (2014) utilizou uma ferramenta de captura para coletar o tráfego de um servidor DNS. Os dados extraídos foram rotulados como estando na lista “negra” e na lista “branca”. A ELM (*Extreme Learning Machines*) foi utilizada para efetuar a classificação do tráfego. Foi constatado um erro igual a 5.06% e acurácia próxima de 95%, enquanto a precisão e a revocação foram respectivamente 92% e 99%.

Williams, Zander, & Armitage (2016), utilizaram os algoritmos C4.5, Rede Bayesiana e árvore de decisão *Naïve Bayes*. Eles realizaram uma comparação não somente da acurácia, mas também da performance dos algoritmos. Os resultados em relação à acurácia foram bem parecidos na maioria dos algoritmos utilizados com acurácia superior a 95%. Em relação à performance notou-se que o algoritmo C4.5 foi o mais rápido.

Ding, Yu, Peng, & Xu (2013), apresentaram um algoritmo de classificação de tráfego baseado no melhoramento do *Support Vector Machine* (SVM) que foi chamado de ISVM. Ele compararam o ISVM com o FWSVM (Wang, Han, & Wang, 2010) e com o FW-SVM (Gu & Zhang, 2011). O ISVM apresentou o melhor desempenho, obtendo uma média de acurácia de 83.63%. O FWSVM conseguiu média da acurácia 77.84% e o FW-SVM alcançou 82.61%.

Parsaei, Sobouti, Khayami, & Javidan (2017) fizeram um estudo dos algoritmos MLP, NARX (Levenberg-Marquardt) e NARX (*Naïve Bayes*) sobre uma arquitetura SDN. Os resultados obtidos pelos algoritmos com relação a acurácia foram: 97 % para a MLP; 97% para o NARX (Levenberg-Marquardt); e 97.6% para o NARX (*Naïve Bayes*). O desempenho dos algoritmos foi parecido, com leve superioridade do NARX (*Naïve Bayes*).

3 | MODELO DE COLETA E CLASSIFICAÇÃO DO TRÁFEGO

O modelo de coleta e classificação do tráfego é formado pelas seguintes etapas: medição do tráfego; seleção e extração dos atributos; seleção das amostras; e implementação dos algoritmos.

3.1 Medição do tráfego na topologia SDN

A topologia SDN utilizada para medição do tráfego é apresentada na Figura 1. A rede é formada por oito (8) hosts, um comutador (switch) e um controlador. Quatro (4) hosts foram configurados como servidores (receptores) e quatro (4) como clientes. A largura de banda dos enlaces entre os hosts e o comutador foi configurada em 10 Mbps. Nesta

fase do trabalho, procurou-se utilizar uma topologia SDN simples de forma a avaliar o comportamento dos algoritmos de classificação sob condições controladas.

A simulação da topologia SDN foi realizada com o software Mininet executado na plataforma SDN Hub. O SDN Hub disponibiliza uma máquina virtual com software pré-instalado, incluindo controladores compatíveis com o protocolo OpenFlow, Mininet, Eclipse e outras ferramentas que facilitam o desenvolvimento de topologias SDN. O código para implementação da topologia SDN no Mininet, mostrada na Figura 1, foi escrito em linguagem Python. O Mininet foi criado por um grupo de professores na Universidade de Stanford para ser usado inicialmente como uma ferramenta de pesquisa e ensino de tecnologias de rede. Atualmente, o Mininet é utilizado para criar topologias SDN virtualmente, consistindo de um controlador openFlow, uma rede Ethernet de múltiplos comutadores Ethernet habilitados para openFlow, e múltiplos hosts (Sharma & Sood, 2014).

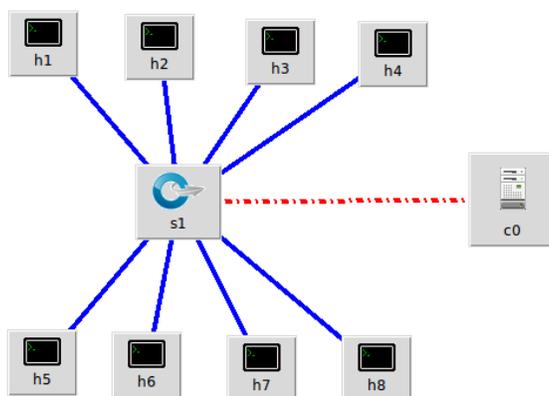


Figura 1- Topologia SDN utilizada para a medição do tráfego.

Após a criação da topologia SDN, foi utilizado o software D-ITG (*Distributed Internet Traffic Generator*) para geração de tráfego das aplicações a partir dos hosts. O D-ITG é uma ferramenta capaz de produzir tráfego a nível de pacotes, replicando com precisão processos estocásticos apropriados para variáveis aleatórias IDT (Tempo médio de partida), PS (Tamanho do Pacote) e variáveis aleatórias (exponencial, uniforme, normal, pareto, etc.) (Botta, Dainotti, & Pescapè, 2012). No D-ITG é possível escolher diferentes processos de renovação para geração de pacotes, usando resultados de caracterização e modelagem da literatura, o D-ITG é capaz de replicar propriedades estatísticas de tráfego de diferentes aplicações (como Telnet, VoIP - G.711, G.723, G.729, Detecção de atividade de voz, RTP compactado - DNS, jogos de rede). Na topologia SDN considerada neste trabalho, os hosts h5, h6, h7 e h8 foram configurados como receptores de tráfego e os hosts h1, h2, h3 e h4 como geradores. Cada um dos hosts geradores geram um tipo diferente de tráfego, conforme apresentado na Tabela 1.

Origem	Destino	Aplicação
10.0.0.1	10.0.0.5	Telnet
10.0.0.2	10.0.0.6	Voip
10.0.0.3	10.0.0.7	Quake3
10.0.0.4	10.0.0.8	DNS

Tabela 1 – Tipos de aplicações de tráfegos geradas.

O D-ITG cria, ao final da geração do fluxo, um relatório com informações estatísticas sobre o tráfego gerado. As informações coletadas foram armazenadas em um arquivo único contendo 4 (quatro) mil medições de tráfego. Esse arquivo, depois de processado, foi utilizado como base para o treinamento e avaliação dos algoritmos da RNA do tipo MLP.

3.2 Seleção dos atributos e definição das amostras

Após a medição e o processamento do tráfego, foram definidos os atributos usados pelos algoritmos de classificação. Os atributos escolhidos foram os valores do delay médio, jitter médio, bytes recebidos, taxa de bits média, taxa de pacotes média e tamanho médio da perda. O princípio de que norteou a escolhas desses atributos foi a possibilidade deles, em trabalhos futuros, poderem ser utilizados para avaliar a Qualidade de Serviços oferecida às aplicações. As 4 (quatro) mil medições de tráfego foram divididas em dois grupos. O primeiro grupo composto por 3 (três) mil medições (75% do total) foi utilizado para treinamento da MLP. O segundo grupo formado por 1000 (mil) medições (25% do total) foi utilizado para testes.

3.3 Implementação dos algoritmos da MLP

Os algoritmos implementados foram RNAs do tipo MLP. Foram comparados três algoritmos de otimização para treinamento da MLP: SGD, L-BFGS e ADAM. As RNAs implementadas possuem uma camada de entrada, uma camada escondida e outra de saída. As entradas das RNAs são os valores valores do delay médio, jitter médio, bytes recebidos, taxa de bits média, taxa de pacotes média e tamanho médio da perda. As saídas são as classes de medição de tráfego identificadas. As MLPs implementadas utilizaram Momentum e Taxas de aprendizagem constante e adaptativa. Os algoritmos das RNAs foram implementados utilizando a linguagem Python e a biblioteca Scikit-learn. O Scikit-learn é orientado a tarefas e depende do ecossistema Python, podendo ser integrado facilmente a aplicativos não tradicionais de análise de dados estatísticos (Pedregosa, et al., 2011).

4 | RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da classificação do tráfego com a utilização da RNA do tipo MLP. Os algoritmos foram avaliados levando em conta a

Acurácia, Precisão, Revocação, F1-Score e Matriz de confusão. Cada um dos algoritmos de classificação foram executados 10 (dez) vezes com a taxa de aprendizado constante e adaptativa, limitando a quantidade de iterações a 200 (duzentas). Na Figura 2 pode-se observar a Acurácia dos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado constante durante as 10 (dez) execuções. O algoritmo ADAM obteve melhor resultado, seguido do algoritmo L-BFGS e SGD.

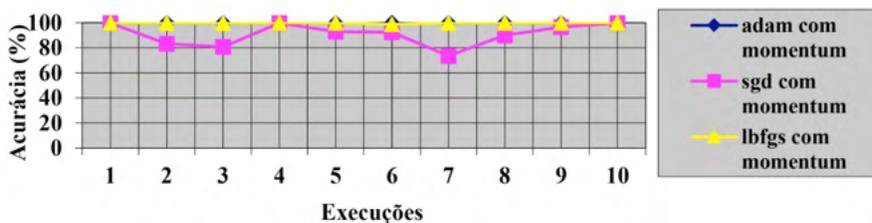


Figura 2 – Acurácia obtida pelos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado constante.

A Figura 3 apresenta os resultados da Acurácia obtidos pelos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado adaptativa durante as execuções. Pode-se observar que os algoritmos de otimização ADAM e L-BFGS obtiveram os melhores valores de Acurácia em todas as execuções, seguidos do algoritmo SGD.

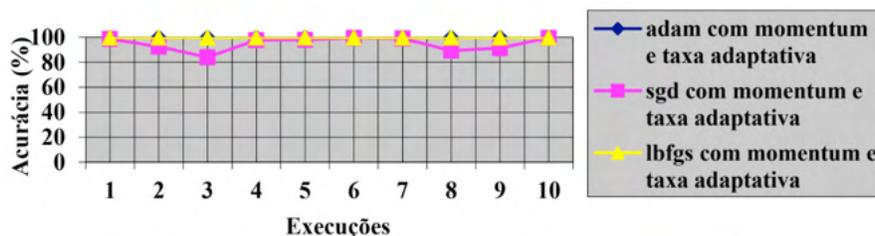


Figura 3 – Acurácia obtida pelos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado adaptativa.

Quando os algoritmos utilizam momentum e taxa de aprendizado constante, o ADAM obteve os melhores resultados. Isso é confirmado na Figura 4, onde pode-se notar mais nitidamente que o algoritmo ADAM obteve a melhor Precisão, seguido do L-BFGS e SGD.

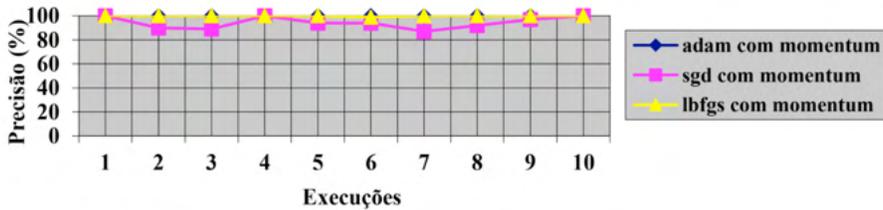


Figura 4 – Precisão obtida pelos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado constante.

Quando os algoritmos utilizaram *momentum e taxa de aprendizado adaptativa*, a Precisão do ADAM e L-BFGS foi exatamente a mesma, seguidos do algoritmo SGD, conforme pode ser observado na Figura 5.

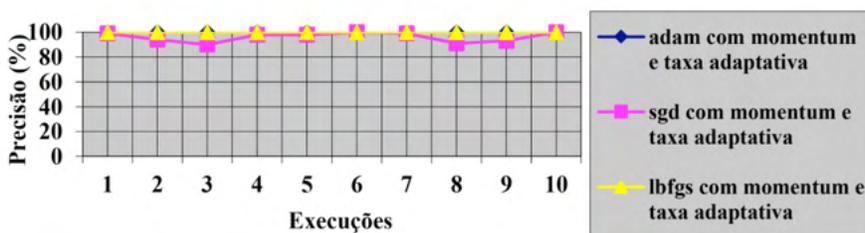


Figura 5 – Precisão obtida pelos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado adaptativa.

A Figura 6 apresenta a Revocação obtida pelos algoritmos utilizando momentum e taxa de aprendizado constante. Pode-se perceber que o ADAM obteve o melhor resultado, seguido pelo L-BFGS e pelo SGD.

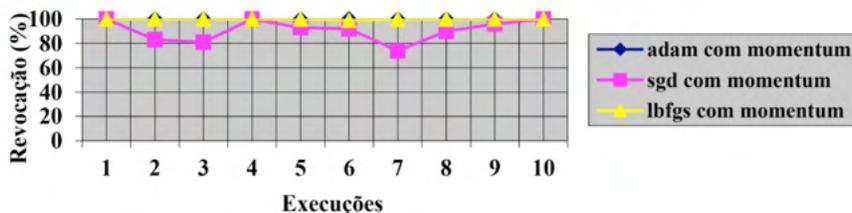


Figura 6 – Revocação obtida pelos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado constante.

A Figura 7 apresenta os resultados da revocação obtida pelos algoritmos utilizando momentum e taxa de aprendizado adaptativa. Pode-se observar que o ADAM e o L-BFGS obtiveram os melhores valores para a Revocação. Já a Figura 8 apresenta os resultados do F1-Score obtidos pelos algoritmos utilizando momentum e taxa de aprendizado constante. Pode-se observar que o ADAM obteve os melhores resultados, seguido do L-BFGS e SGD.

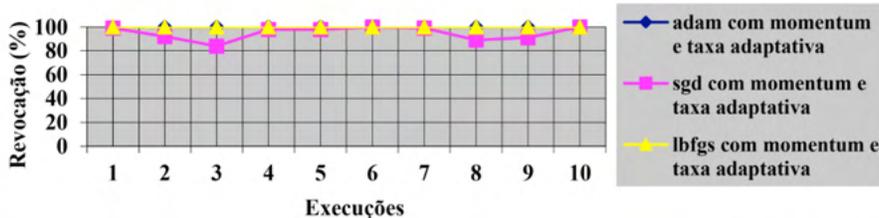


Figura 7 – Revocação obtida pelos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado adaptativa.

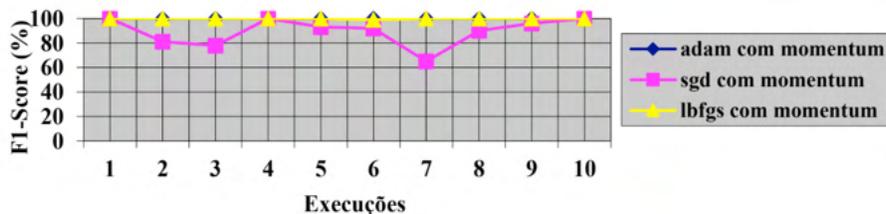


Figura 8 – F1 Score obtido pelos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado constante.

Quando os algoritmos utilizam momentum e taxa de aprendizado adaptativa, pode-se observar na Figura 9 que o ADAM e o L-BFGS obtiveram melhores resultados de F1-Score.

Apenas como ilustração, é apresentada na Tabela 2 a Matriz de confusão do resultado de uma das execuções do ADAM com momentum e taxa de aprendizado constante. Ele foi selecionado em função de ter obtido os melhores resultados na maioria das execuções.

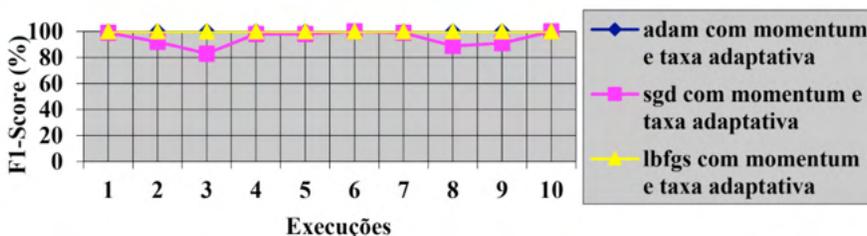


Figura 9 – F1 Score obtido pelos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado adaptativa.

Real\Predito	Telnet	Voip	Quake3	DNS
Telnet	223	0	1	0
Voip	0	263	0	0
Quake3	0	0	250	0
DNS	0	0	0	260

Tabela 2 - Matriz de Confusão do ADAM com momentum e taxa de aprendizado constante.

No caso de execuções com momentum e taxa de aprendizado adaptativa, o ADAM

e o L-BFGS obtiveram os mesmos resultados. A Tabela 3 apresenta a Matriz de confusão de uma das execuções do algoritmo L-BFGS.

RealPredito	Telnet	Voip	Quake3	DNS
Telnet	223	0	1	0
Voip	0	263	0	0
Quake3	0	0	250	0
DNS	0	0	0	260

Tabela 3 - Matriz de Confusão do L-BFGS com momentum e taxa de aprendizado adaptativa.

Visando comparar o desempenho dos classificadores de tráfego utilizados neste trabalho, as Tabelas 4 e 5 apresentam um resumo dos resultados obtidos pelos algoritmos ADAM, L-BFGS e SGD durante as 10 (dez) execuções realizadas.

	ADAM	L-BFGS	SGD
Acurácia	99,89 %	99,89 %	90,81 %
Precisão	100,00 %	99,90 %	94,30 %
Revocação	100,00 %	99,90 %	90,90 %
F1-Score	100,00 %	99,90 %	89,50 %

Tabela 4 – Valores médios da Acurácia, Precisão, Revocação e F1-Score dos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado constante.

No caso de execuções dos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado constante, os algoritmos ADAM e L-BFGS obtiveram resultados semelhantes mas com pequena superioridade do primeiro. Por outro lado, quando utilizaram momentum e taxa de aprendizado adaptativa, o ADAM e o L-BFGS obtiveram resultados exatamente iguais. Pode-se notar também que o ADAM obteve os mesmos resultados não importando o tipo de taxa de aprendizado. O mesmo não ocorreu com o L-BFGS e o SGD que obtiveram os melhores resultados com a utilização de momentum e taxa de aprendizado adaptativa.

	ADAM	L-BFGS	SGD
Acurácia	99,89 %	99,89 %	95,05 %
Precisão	100,00 %	100,00 %	96,20 %
Revocação	100,00 %	100,00 %	95,00 %
F1-Score	100,00 %	100,00 %	94,90 %

Tabela 5 – Valores médios da Acurácia, Precisão, Revocação e F1-Score dos algoritmos com momentum e taxa de aprendizado adaptativa.

Pode-se também comparar os resultados do ADAM, L-BFGS e SGD com os obtidos pelos algoritmos utilizados nos trabalhos relacionados. A Tabela 6 apresenta os melhores resultados da Acurácia obtidos nesses trabalhos.

	C4.5	ELM	C4.5	ISVM	NARX (Naive Bayes)
	Shafiq et al.(2016)	Ghafari et al. (2014)	Williams, Zander & Armitage(2016)	Ding, Yu, Peng & Xu (2013)	Parsaei, Sobouti, Khayami, & Javidan (2017)
Acurácia	80,00 %	95,00 %	95,00 %	83,63 %	97,60 %

Tabela 6 – Acurácia obtida pelos algoritmos utilizados nos trabalhos relacionados.

Observando a Tabela 6, pode-se notar que os resultados obtidos pelo ADAM e L-BFGS são promissores uma vez que se apresentam superiores com relação a Acurácia. Entretanto, para uma comparação definitiva, é necessário avaliar os algoritmos dos trabalhos relacionados com os mesmos padrões de treinamento e testes utilizados neste artigo.

5 | CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo comparativo dos algoritmos de otimização ADAM, L-BFGS e SGD da RNA do tipo MLP para a classificação de tráfego entrante em topologias SDN. Foi apresentado um modelo de coleta e classificação do tráfego para a topologia SDN proposta. A ferramenta D-ITG foi utilizada para geração de tráfego entrante na rede. Através dos relatórios gerados pelo D-ITG foi construído um arquivo com os padrões de treinamento e teste utilizados pelos algoritmos da RNA do tipo MLP. Os algoritmos de otimização avaliados utilizaram momentum e taxas de aprendizado constante e adaptativa. Verificou-se que o algoritmo ADAM obteve os melhores resultados quando se utiliza taxa de aprendizado constante. Por outro lado, o ADAM e o L-BFGS obtiveram resultados iguais no caso do uso da taxa de aprendizado adaptativa.

A principal limitação deste estudo refere-se ao fato do mesmo ter sido realizado com a utilização de uma topologia SDN simples simulada sob condições controladas. Além disso, nesta fase do trabalho não foram realizados registros dos tempos de treinamento das RNAs e dos testes das classificações realizadas. Estas informações são muito importantes para avaliar a viabilidade de aplicação destes algoritmos numa topologia de rede real.

Como trabalhos futuros pretende-se identificar outras técnicas de classificação existentes na literatura visando a comparação com os algoritmos utilizados neste trabalho. Como exemplo, pode-se citar C4.5, Naive Bayes, Bayes net, SVM e ELM. Além disso, serão reavaliadas as aplicações entrantes utilizadas na topologia SDN com a inclusão de novas, como por exemplo Vídeo, além da revisão dos atributos utilizados na classificação.

Serão implementadas também funções para registro dos tempos de treinamento e testes das RNAs. Finalmente, os classificadores serão testados em um cenário do mundo real com a utilização de uma topologia SDN formada por um maior número de comutadores e hosts.

REFERÊNCIAS

Akyildiz, I. F., Lee, A., Wang, P., Luo, M., & Chou, W. **Research Challenges for Traffic Engineering in Software Defined Networks**. *IEEE Network*, 52-58. 2016

Astuto, B. N., Mendonça, M., Nguyen, X. N., Obraczka, K., & Turletti, T. **A Survey of Software-Defined Networking: Past, Present, and Future of Programmable Networks**. *Communications Surveys and Tutorials, IEEE Communications Society*, 1617-1634. 2014

Bisol, R. V., Silva, A. S., Machado, C. C., Granville, L. Z., Schaeffer-Filho, A. E. **Coleta e Análise de Características de Fluxo para Classificação de Tráfego em Redes Definidas por Software**. *XXXIV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. 2016

Botta, A., Dainotti, A., & Pescapè, A. (2012). **A tool for the generation of realistic network workload for emerging networking scenarios**. *Computer Networks (Elsevier)*, 56, 3531-3547.

Ding, L., Yu, F., Peng, S., & Xu, C. **A Classification Algorithm for Network Traffic based on Improved Support Vector Machine**. *JOURNAL OF COMPUTERS*, 8(4), 1090-1096. 2013

Duarte, V. A.. **MP-DRAUGHTS - Um Sistema Multiagente de Aprendizagem Automática para Damas Baseado em Redes Neurais de Kohonen e Perceptron Multicamadas**. Dissertação, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. 2009

Ghafari, J., Herbert, E., Senecal, S., Migault, D., Francfort, S., & Liu, T. **Extreme Learning Machines for Internet Traffic Classification**. *European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning*, 625-630. 2014

Gu, C. J., & Zhang, S. Y.. **Network traffic classification based on improved support vector machine**. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 32(7), 15071513. 2011

Kreutz, D., Ramos, F. M., Verissimo, P., Rothenberg, C. E., Azodolmolky, S., & Uhlig, S.. **Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey**. *Proceedings of the IEEE*, 103, 14-76. 2015

Parsaei, M. R., Sobouti, J., khayami, S. R., & Javidan, R. **Network Traffic Classification using Machine Learning Techniques over Software Defined Networks**. (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 8(7), 220-225. 2017

Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Duchesnay, E. **Scikit-learn: Machine Learning in Python**. *Journal of Machine Learning Research* 12, 2825-2830. 2011.

Rodríguez, F. L.. **Arquitetura e protótipo de uma rede SDN-OPENFLOW para provedor de serviço**. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Elétrica, Brasília. 2014

Rothenberg, C. E., Nascimento, M. R., Salvador, M. R., & Magalhães, M. F.. **OpenFlow e redes definidas por software: um novo paradigma de controle e inovação em redes de pacotes.** *Cadernos CPqD Tecnologia*, 65-76. 2010.

Shafiq, M., Yu, X., Laghari, A. A., Yao, L., Karn, N. K., & Abdessamia, F. **Network Traffic Classification Techniques and Comparative Analysis Using Machine Learning Algorithms.** *IEEE International Conference on Computer and Communications*, 2451-2455. 2016.

Sharma, K. K., & Sood, M. **Mininet as a Container Based Emulator for Software Defined Networks.** *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 681-685. 2014.

Souza, F. A. **Análise de desempenho da rede neural artificial do tipo multilayer perceptron na era multicore.** Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Natal, RN. 2012.

Vieira, Z. P., & Bauchspiess, A. **Implementação do Servocontrole Auto-Sintonizado em Tempo-Real Utilizando Rede Perceptron Multicamadas.** *IV Congresso Brasileiro de Redes Neurais*, 308-313. 1999.

Wang, X. Z., Han, M., & Wang, J. **Applying input variables selection technique on input weighted support vector machine modeling for BOF endpoint prediction.** *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 23(6), 1012-1018. 2010

Williams, N., Zander, S., & Armitage, G.. **A Preliminary Performance Comparison of Five Machine Learning Algorithms for Practical IP Traffic Flow Classification.** *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 36, 5-16. 2016.

CAPÍTULO 5

CRESCIMENTO EM DAP E ALTURA TOTAL DE CINCO ÁREAS CILIARES NO MUNICÍPIO DE GURUPI-TO

Data de aceite: 01/11/2021

Maria Cristina Bueno Coelho

Universidade Federal do Tocantins, Curso Engenharia Florestal, campus Gurupi
<http://lattes.cnpq.br/2999809334076571>
<https://orcid.org/0000-0003-0409-0624>

Mauro Luiz Erpen

Instituto Federal do Tocantins , Curso de Engenharia Civil, IF campus Gurupi
<http://lattes.cnpq.br/7329927485701691>

Marcos Vinicius Cardoso Silva

Universidade Federal do Tocantins , Curso Engenharia Florestal, campus Gurupi
<http://lattes.cnpq.br/7789461574720265>
<https://orcid.org/0000-0003-4507-0961>

Yandro Santa Brigida Ataide

Universidade Federal do Tocantins ,Curso Engenharia Florestal, campus Gurupi
<http://lattes.cnpq.br/5408674120649888>
<https://orcid.org/0000-0002-7593-353X>

Mathaus Messias Coimbra Limeira

Universidade Federal do Tocantins ,Curso Engenharia Florestal, campus Gurupi
<http://lattes.cnpq.br/6551417035349065>

Walberisa Magalhães Gregório

Universidade Federal do Tocantins ,Curso Engenharia Florestal, campus Gurupi

Maurilio Antonio Varavallo

Universidade Federal do Tocantins, Curso Engenharia Florestal, campus Gurupi
<http://lattes.cnpq.br/0544143604204104>

Juliana Barilli

Universidade Federal do Tocantins ,Curso Engenharia Florestal, campus Gurupi
<http://lattes.cnpq.br/6647824142535902>

André Ferreira dos Santos,

Universidade Federal do Tocantins Curso Engenharia Florestal, campus Gurupi
<http://lattes.cnpq.br/4518510510661568>
<https://orcid.org/0000-0003-0449-5111>

Max Vinicius Reis De Sousa

Universidade Federal do Tocantins Curso Engenharia Florestal, campus Gurupi
<http://lattes.cnpq.br/4748382231830245>

Marcos Giongo

Universidade Federal do Tocantins Curso Engenharia Florestal, campus Gurupi
<http://lattes.cnpq.br/5712134838373036>

RESUMO: A área estudada é de mata ripária remanescente, compreendendo os córregos Água Franca, Dois Irmãos, Mutuca, Pouso do Meio 1 e Pouso do Meio 2. O objetivo foi O presente estudo teve como objetivo analisar a diferença de crescimento em DAP e altura total nos córregos supra citados. O método de amostragem utilizado foi o de parcelas múltiplas, de dimensões 10m x 50m, distribuídas a partir de uma parcela inicial localizada na nascente e demarcada às margens de cada córrego. A partir desta parcela foram mensuradas as próximas, de forma sistemática, a cada 100 metros, em toda a extensão dos 5 córregos descritos. Os fragmentos de áreas ciliares analisados apresentaram no total 1884 árvores, na maioria

finas (maior percentual nas três primeiras classes diamétricas) e baixas (alturas totais com maior percentual nas quatro primeiras classes). As áreas ciliares analisadas indicam que existem diferenças de crescimento em altura total e DAP entre elas, com exessão do pouso do meio 1 com o Pouso do Meio 2 e Pouso do Meio 2 com Dois Irmãos e Pouso do Meio 1 com dois Irmãos respectivamente. Também apresentaram alta varibilidade de crescimento em Altura Total e DAP ($CV\% > 20$).

PALAVRAS-CHAVE: Mensuração, Mata Ciliar, Tukey.

ABSTRACT: The studied area is of remnant riparian forest, comprising the streams Água Franca, Dois Irmãos, Mutuca, Pouso do Meio 1 and Pouso do Meio 2. The objective of this study was to analyze the difference in growth in DBH and total height in the above-mentioned streams. The sampling method used was multiple plots, with dimensions 10m x 50m, distributed from an initial plot located at the source and demarcated on the banks of each stream. From this plot, the next ones were systematically measured, every 100 meters, along the entire length of the 5 streams described. The fragments of riparian areas analyzed had a total of 1884 trees, mostly thin (higher percentage in the first three diameter classes) and short (total heights with the highest percentage in the first four classes). The ciliary areas analyzed indicate that there are differences in growth in total height and DBH between them, with the exception of the Pouso do Meio 1 with Pouso do Meio 2 and Pouso do Meio 2 with Dois Irmãos and Pouso do Meio 1 with two Brothers, respectively. They also showed high growth variability in Total Height and DBH ($CV\% > 20$).

KEYWORDS: Measurement, Ciliar Forest, Tukey.

1 | INTRODUÇÃO

Os cursos hídricos são em sua maioria, o marco inicial do povoamento de uma região. Assim, à medida que a população é atraída para a nova área, ocorre à expansão e, conseqüentemente, a alteração da paisagem natural existente na bacia hidrográfica (Ferrara, 1996). A existência de bacias hidrográficas urbanizadas é bastante frequente em diversas cidades do Brasil, o crescimento da população tem desencadeado ações contrárias à conservação dos recursos naturais e conseqüentemente intensificando a degradação dos corpos hídricos. Dessa forma torna-se cada vez mais frequente a urbanização de bacias urbanizadas, ou seja, locais onde as ruas tomam os lugares dos afluentes e a interação do meio urbano com os rios é considerada comum. Este é um conflito de uso que requer cautela visto os prejuízos quanto a qualidade e quantidade de água disponível, essenciais para a conservação dos mananciais. É necessário assegurar estratégias que contemplem desde o diagnóstico ambiental à implementação de gestão ambiental para assegurar a sustentabilidade. Isto, pois, quando há modificação da paisagem do local a reconstituição não se dá de forma integral, ou seja, não podendo retomar à sua forma original e seu estágio inicial perfeito, por mais que medidas de recuperação sejam empregadas. As áreas ciliares remanescentes são composições florestais encontradas ao longo de cursos d'água, cuja função é proteger os córregos e rios, influenciando assim na qualidade

da água, na preservação do ciclo hidrográfico nas bacias hidrográficas, impedindo o desenvolvimento de erosão das bordas e o assoreamento do leito dos córregos e rios. As Áreas de Preservação Permanente (APP^s) auxiliam na preservação dos recursos hídricos, na estabilidade geológica, da fauna e flora existentes, além de facilitar o fluxo gênico entre espécies (BRASIL 2012).

Para que ocorra o povoamento em uma nova região, vários fatores são levados em consideração, e a presença de recursos hídricos talvez seja o fator de maior importância para a instalação de uma nova população (OLIVEIRA et al., 2018). Assim, o crescimento de um município em torno de uma bacia hidrográfica onde suas matas de galeria e ciliares estejam livres de desmatamento, sua fauna esteja preservada e suas águas livres de poluição, não é uma tarefa fácil para o poder público e comunidades locais (NOVAIS et al., 2018).

A hipótese aqui testada é de que as áreas ciliares dos córregos Água Franca, Dois Irmãos, Mutuca, Pouso do Meio 1 e Pouso do Meio 2 que fazem parte da bacia urbanizada tem o mesmo crescimento para as variáveis dendrométricas DAP (cm) e altura total (m).

O presente estudo teve como objetivo analisar a diferença de crescimento em cinco diferentes matas ciliares nos córregos da bacia hidrográfica dos rios Santo Antônio e Santa Tereza que banham o município, sendo eles: Mutuca, Dois Irmãos, Água Franca, Pouso do Meio 1 e Pouso do Meio 2.

2 | METODOLOGIA

O estudo foi realizado em Gurupi, município do sul do Estado do Tocantins. A cidade conta com uma área de 1.836 km² e uma população estimada em 85.523 habitantes. Para a coleta dos dados, foi realizado inventário florestal nas matas ciliares.

Os dados foram obtidos nos anos de 2019 e 2020 a partir da realização de inventário sistemático temporário, em áreas de mata ripária com tamanho total de 6.058,31 km² (somatório das APP^s dos cinco córregos). O método de amostragem utilizado foi o de parcelas múltiplas, distribuídas a partir de uma parcela inicial demarcada às margens de cada córrego próximo à nascente. A partir desta parcela foram medidas as próximas, de forma sistemática sendo o total amostrado regulado pela curva do coletor para cada córrego.

O método de amostragem utilizado foi o de parcelas múltiplas, de dimensões 10m x 50m, distribuídas a partir de uma parcela inicial localizada na nascente e demarcada às margens de cada córrego. A partir desta parcela foram mensuradas as próximas, de forma sistemática, a cada 100 metros, em toda a extensão dos 5 córregos descritos. O número de parcelas variou de acordo com cada córrego (Tabela 2). Nas parcelas foram mensuradas as alturas e diâmetro à altura do peito (DAP), e identificados todos os indivíduos com DAP superior a 5 cm.

O teste de Tukey foi utilizado para verificar se existe diferença significativa de vegetação entre os córregos e dentro de cada córrego, tomando como base a diferença

mínima significativa (D.M.S.), onde q é o valor dado na tabela ao nível de significância estabelecido e o QMR é o quadrado médio do resíduo da análise de variância e r é o número de repetições de cada um dos tratamentos. De acordo com o teste, duas médias são estatisticamente diferentes toda vez que o valor absoluto da diferença entre elas for igual ou maior que a D.M.S (Vieira et al., 1989).

Em levantamento de campo procedeu-se a caminhada em toda a extensão de cada um dos cinco córregos, desde a nascente até a foz onde foram levantados dados de utilização da faixa de APP em ambas as margens dos cursos d'água. Os córregos foram divididos conforme uso e ocupação da faixa de APP e georreferenciados com GPS operando no sistema UTM.

Os pontos foram plotados sobre base cartográfica e as áreas foram calculadas a partir de planilha eletrônica.

3 I RESULTADOS

Foram mensurados um total de 1885 árvores nas 5 áreas dos córregos, 308 no córrego Pouso do Meio 1, 560 no córrego Mutuca, 616 no córrego Água Franca, 113 no córrego Pouso do Meio 2 e 288 no córrego Dois Irmãos.

Nas áreas ciliares da microbacia urbanizada do município de Gurupi (TO) as variáveis medidas, DAP (cm) e Ht (m) indicaram que os córregos tem em média árvores finas e baixas. Os valores de DAP médio foram 16,7cm; 20,6cm; 24,3cm; 24,8cm e 30,4cm para os córregos Água Franca, Mutuca, Dois irmãos, Pouso do Meio 1 e Pouso do Meio 2 respectivamente. Para altura total média, 4,1m; 18,7m; 7,1m; 7,6m e 7,6m para Mutuca, Dois irmãos, Água Franca, Pouso do Meio 1 e Pouso do Meio 2 respectivamente. Pode-se identificar que o córrego Água Franca é o que possui maior extensão dentro do município e também o que apresenta o maior número de espécies e de famílias botânicas. O mesmo é seguido pelo Mutuca, Dois irmãos e Pouso do Meio 1 (Tabela 1).

	Córregos									
	AF		DI		M		PM I		PM II	
Variáveis	DAP (cm)	Ht (m)								
Média	16,7	18,7	24,3	7,1	20,6	4,1	24,8	7,6	30,4	7,6
Erro padrão	0,4	0,3	0,8	0,2	0,5	0,1	1,0	0,2	2,4	0,2
Mediana	12,7	17,4	19,1	6,5	15,9	3,5	20,0	7,0	20,0	6,5
Modo	9,5	23,2	14,9	7,0	12,7	2,0	18,1	7,0	8,9	5,5
Desvio padrão	11,7	9,4	14,9	3,6	13,9	2,8	18,4	3,6	25,6	3,0
Coefficiente de Variação	70,3	50,1	61,4	51,2	67,2	67,2	74,2	47,8	84,2	40,3
Curtose	7,4	1,8	2,2	11,8	6,5	6,5	7,7	2,3	3,1	-0,1

Assimetria	2,4	1,1	1,3	2,2	2,1	2,1	2,45	1,4	1,8	0,9
Intervalo	89,1	55,1	95,6	33,0	3,1	0,5	120,3	19,5	123,0	12,5
Mínimo	6,3	2,9	6,3	2,0	20,6	4,1	6,68	2,5	7,0	2,5
Máximo	95,4	58,0	102,0	35,0	106,0	18,0	127,0	22,0	130,0	15,0

Tabela 1. Estatística descritiva para as variáveis altura (Ht) e Diâmetro à Altura do Peito (DAP) para os córregos Água Franca (AF), Dois Irmãos (DI), Mutuca(M), Pouso do Meio1 (PM I) e Pouso do Meio 2 (PM II).

A estatística descritiva da Tabela 1 mostra que o córrego Pouso do Meio 2 possui o maior valor médio para DAP ($30,42 \pm 25,62$ cm) e altura de $7,67 \pm 3,09$ m, entretanto a variável altura apresentou o maior valor médio ($18,77 \pm 9,42$ m) e DAP ($16,75 \pm 11,78$ cm) no córrego Água Franca contando com a presença de indivíduo com altura máxima de 58 metros. Os demais valores médios para DAP e altura são respectivamente, $24,31 \pm 14,94$ cm e $7,12 \pm 3,65$ m para o córrego Dois Irmãos, $24,89 \pm 25,62$ cm e $7,6 \pm 3,64$ m para o córrego Pouso do Meio 1 e por fim o menor valor para DAP ($20,68 \pm 13,99$ cm); encontrado no córrego Mutuca e altura $4,19 \pm 2,81$ m. No que se refere às variáveis que expressaram maior variabilidade, verificou-se maior variação de DAP (123,00 cm) para o córrego Pouso do Meio 2, e maior variação de altura no córrego Água Franca (55,1 m).

Gama et al (2018) ao determinar a estatística descritiva, para Cerrado *sensu stricto* observou que os valores para diâmetro variaram de 6,04 a 56,02 cm tendo média 12,51 cm e quando analisou a Mata Ciliar no Município de Peixe, Cerrado da região sul do Tocantins, encontrou valores de 6,36 a 60,16 cm com média de 17,84 cm, respectivamente. Resultados semelhantes foram encontrados por (Cabacinhas & Castro 2010) quando estudaram a estrutura diamétrica em fragmentos florestais no Cerrado Brasileiro obtendo valores médios de 14 cm.

Os 1885 indivíduos identificados pertencem à 46 famílias e 103 espécies diferentes. O Córrego Mutuca apresentou o maior valor do índice de Shannon-Weaver, o que indica uma maior diversidade florística. Esse resultado é previsível, pois, segundo Odum (1988), a diversidade de espécies vegetais, geralmente aumenta com a sucessão e alcança um máximo no clímax, onde costumam coexistir espécies de diversas fases da sucessão (Tabela 2). Dados que corroboram com os estudos de Venâncio et al. (2008) que ao avaliarem a composição florística de duas florestas inundáveis na Planície do Araguaia-TO, encontraram o índice de diversidade de Shannon-Weaver de 3,44. Andrade et al. (2002) encontraram o índice de Shannon-Weaver com valor de 3,53 em uma área de cerrado denso na RECOR-IBGE, Brasília corroborando com este estudo. Valores semelhantes a este estudo foram encontrados por Medeiros et al. (2012) ao estudarem a composição e estrutura de comunidades arbóreas de cerrado stricto sensu no município de Filadelfia-TO encontraram um índice de diversidade de Shannon-Weaver de 3,32. Resultados semelhantes foram encontrados por Neto (2016), ao inventariar uma área de cerrado *sensu*

stricto no município de Dueré-TO, encontrando um valor de H' igual a 3,31 e de J' igual a 0,86. Em contrapartida os córregos PM I e II foram os que apresentaram menor valor de H'.

Para o índice de equabilidade de Pielou (J'), o córrego com maior valor foi o Mutuca com 0,862 que indica 86% da diversidade e o córrego com menor equabilidade foi PM II com valor de 0,746 que indica 76% da diversidade máxima teórica obtida por meio da amostragem realizada mostrando a baixa amplitude total deste índice (0,12). Dados semelhantes a estes foram encontrados por Medeiros & Walter (2008) com equitabilidade de 0,77 e para o índice de Shannon calculado para o município de Carolina (MA) foi de 3,04. Já para o município de Filadélfia (TO) foram encontrados os valores de 0,83 para a equitabilidade e de 3,32 para índice de Shannon. Pinto et.al. (2009) encontraram valores entre 0,71 a 0,91 de equitabilidade estimados para as matas ciliares e de galeria do Planalto Central.

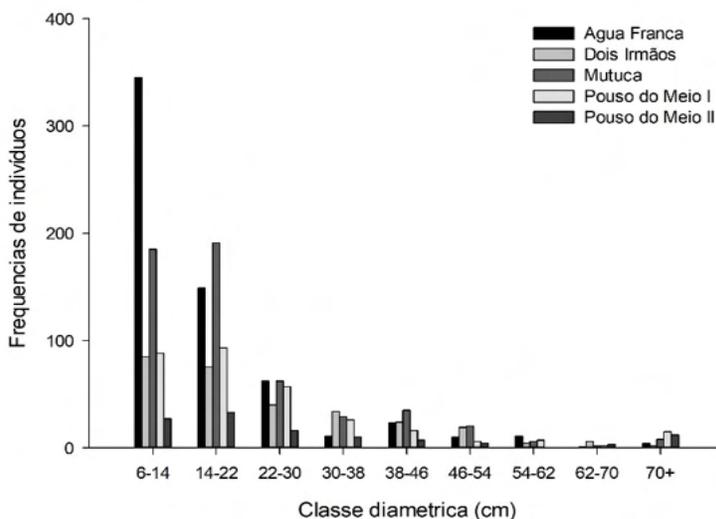
Córregos	C (Km)	NP	NI	NE	NF	H'	J'	HT Média (m)	DAP Médio (cm)	CV HT (%)	CV(%) DAP
AF	12	24	616	66	40	3,33	0,80	18,77	16,74	50,1	70,3
M	5	11	560	54	32	3,44	0,86	4,20	6,56	66,7	67,1
PM I	2,9	27	308	36	19	2,92	0,80	7,59	24,89	47,8	74,2
DI	3	25	288	46	22	3,20	0,84	7,11	24,31	51,2	61,4
PM II	0,9	8	113	15	11	2,02	0,74	7,66	30,42	40,3	84,2
TOTAL	23,8	95	1885								

Em que: AF= Água Franca, M=Mutuca, PM1= Pouso do Meio 2, DI=Dois irmãos, PM2= Pouso do Meio 2, C = comprimento, NP= número de parcelas, NI= número de indivíduos, NE = número de espécies, NF= número de famílias, H' = índice de Shannon-Weaver e J' = Equabilidade de Pielou, HT= Altura total em metros, DAP = Diâmetro a Altura do Peito (cm).

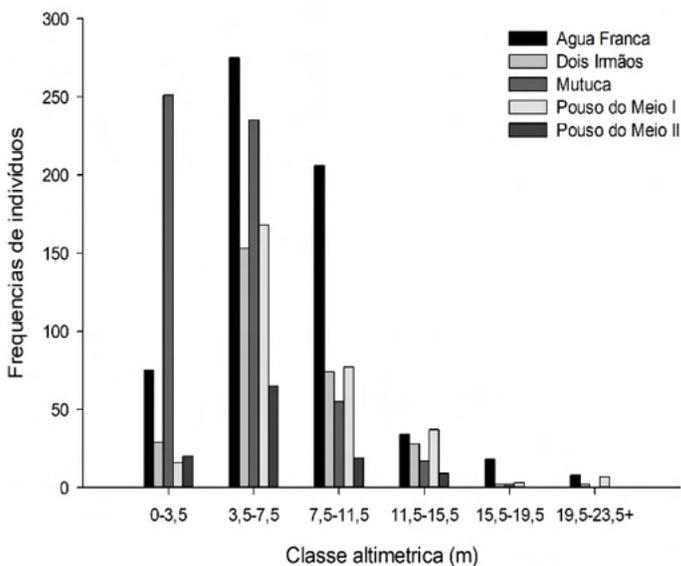
Tabela 2: Dados gerais dos cinco córregos pertencentes a baía urbanizada dos rios Santo Antônio e Santa Tereza.

O percentual de indivíduos presente nas três primeiras classes diamétricas, representado em cada córrego respectivamente um total de 90,2%; 69,2%; 81,4%; 76,5% e 67,8%, onde o córrego Pouso do Meio 2 apresentou menor valor percentual em suas três primeiras classes, mostrando distribuição mais homogênea em relação ao número de indivíduos em todas as classes de diâmetro. Por se tratar de uma área que ainda possui vegetação original, a primeira e segunda classe diamétrica irá apresentar maior número de indivíduos, representado na devida ordem um percentual de 56,0% e 24,2% para o Água Franca; 29,4% e 25,9% para Dois irmãos; 34,9% e 35,5% para Mutuca; 28,3% e 29,9% para Pouso do Meio 1 e 24,1% e 29,4% para Pouso do Meio 2 (Figura 1 a). Há uma maior quantidade de indivíduos em todos os córregos registrada nas três primeiras classes de altura, como ênfase no córrego Mutuca que apresenta 44,64% de indivíduos na segunda classe de altura 3,5-7,5m. Além disso, percebe-se que a mata ciliar apresenta poucas árvores com altura superior a 15 metros, sendo somente o Água Franca e o Pouso

do Meio 1 apresentam indivíduos nas classes de altura de 19,5 a 23,5 m, respectivamente 8 e 7 indivíduos (Figura 1b). O modelo de estrutura vertical, onde a maior parte dos indivíduos está concentrada nas classes medianas de altura é própria para esta tipologia vegetal sendo que está descrita em pesquisas realizadas na parte meridional do Estado do Tocantins (Neto,2016).



(a)



(b)

Figura 1. Estrutura horizontal (a) e vertical (b) em fragmento de matas ripárias dos córregos Água Franca, Dois irmãos, Mutuca, Pousou do Meio 1 e Pousou do Meio 2.

Para variável altura total a análise de variância mostrou que existe diferença significativa entre os córregos (Tabela 3) indicando diferenças de crescimento em altura total.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	F crítico
Entre grupos	70953,11	4	17738,27	491,5	2,4
Dentro dos grupos	67847,79	1880	36,08		
Total	138800,91	1884			

Tabela 3: Análise de variância (ANOVA) para a variável Altura.

O mesmo pode ser observado para a variável biométrica DAP (Diâmetro a altura do peito) na Tabela 3.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	F crítico
Entre grupos	115954,70	4	28988,68	160,3	2,4
Dentro dos grupos	338637,89	1880	180,13		
Total	454592,59	1884			

Em que: SQ = soma dos quadrados, gl = graus de Liberdade, MQ = Quadrado médio, F = valor F calculado, e F crítico = valor F tabelado.

Tabela 3: Análise de variância (ANOVA) para a variável diâmetro.

Como existe diferença significativa para as variáveis biométricas Altura Total e DAP, foi feito teste de comparação das médias, teste Tukey, para analisar entre quais matas ciliares existem diferenças no crescimento. Para variável Altura Total (Tabela 4) existe diferença de crescimento dos córregos Mutuca e Água Franca todos os demais, Pouso do Meio 1 difere do Mutuca e Água Franca e Pouso do Meio 2 difere do Mutuca e o Dois irmãos difere do Mutuca e o Água Franca. Existindo semelhanças somente entre Pouso do Meio 1 e Pouso do Meio 2 e Dois Irmão.

	PM I	M	PM II	AF	DI
PMI	-	2,30E-08	1	2,29E-08	0,8657
M	-	-	2,51E-04	2,29E-08	3,12E-07
PM II	-	-	-	2,29E-08	0,9222
AF	-	-	-	-	2,29E-08
DI	-	-	-	-	-

Tabela 4: Resultado do Teste Tukey para a variável Altura total (m).

Já para variável DAP só existe semelhança de crescimento entre os córregos P Meio 1 e Dois Irmãos (Tabela 5).

	PM I	M	PM II	AF	DI
PM I	-	2,29E-08	2,30E-08	0,001746	0,9848
M	-	-	2,29E-08	2,29E-08	2,29E-08
PM II	-	-	-	2,30E-08	2,30E-08
AF	-	-	-	-	0,0004185
DI	-	-	-	-	-

Tabela 5: Resultado do Teste Tukey para a variável diâmetro a altura do peito (cm).

4 | CONCLUSÕES

Os fragmentos de áreas ciliares analisados apresentaram no total 1884 árvores, na maioria finas (maior percentual nas três primeiras classes diamétricas) e baixas (alturas totais com maior percentual nas quatro primeiras classes). Os índices de diversidade indicaram que as áreas estudadas apresentaram diversidade relativamente alta. Enquanto a equabilidade de Pielou (J') apresentou valores entre 74% a 86%, estando estes valores dentro dos encontrados para áreas ciliares das microbacias dos rios Santo Antônio e Santa Teresa. A densidade de indivíduos por hectare para todos os córregos estão abaixo destes valores.

As áreas ciliares analisadas indicam que existem diferenças de crescimento em altura total e DAP entre elas, com excessão do pouso do Meio 1 com o Pouso do Meio 2 e Pouso do Meio 2 com Dois Irmãos e Pouso do Meio 1 com dois Irmãos respectivamente. Também apresentaram alta varibilidade de crescimento em Altura Total e DAP ($CV\% > 20$)

A microbacia urbanizada do município de Gurupi, o terceiro maior pólo de crescimento do Estado e localizado na abrangência direta dos rios Santo Antônio e Santa Tereza, importantes afluentes do Rio Tocantins, possui uma riqueza de espécies nativas representativa do Bioma Cerrado, porém, a degradação ocorre pela antropização indicada pela análise fitossociológica, o que compromete a conservação dessa bacia hidrográfica, sendo necessário ações de manejo tal qual recuperação de nascentes e ações integradas de gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei de Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. [Online]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm. Acesso em 15 de dezembro de 2020.

CC Gama, BAC Aguiar, PR de S Fernandes, ENP Lima, AF dos Santos e MCB Coelho, "Funções Probabilísticas Para Descrever A Distribuição Diamétrica Em Peixe-To", *Scientia Agraria Paranaensis*, v. 17, n. 2, Abr/Jun, pp. 205-212, 2018.

CD Cabacinha e SS Castro, "Estrutura diamétrica e estado de conservação de fragmentos florestais no Cerrado Brasileiro". *Revista Floresta e Ambiente*, v.17, n.1, Jan, pp. 51-62, 2010.

FERRARA, L. D. A. As Cidades Ilegíveis - Percepção Ambiental e Cidadania. Percepção Ambiental: a experiência brasileira. EdUFSCar, São Carlos, SP. 1996.

IBGE Instituto Brasileiro Geográfico. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1><http://www.recantodasletras.com.br/artigos/1325204><http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/baciaurb.htm><http://mundogeo.com/blog/2010/12/12/efeitos-antropicosem-bacia-hidrografica/>

MEDEIROS, M. B.; WALTER, B. M. T. Composição e estrutura de comunidades arbóreas de cerrado *stricto sensu* no norte do Tocantins e sul do Maranhão. *Rev. Árvore* vol.36 no.4 Viçosa July/Aug. 2012.

NETO, Virgílio Lourenço et al. Fitossociologia e Distribuição diamétrica de uma área do Cerrado *Sensu stricto*, Dueré, TO. *Revista de Ciências ambientais*, Canoas, RS, v. 10, n. 1, p. 91-106, jan. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18316/1981-8858.16.24>>. Acesso em: 20 jul. 2018.

NOVAIS, Rafael Rezende et al.. Análise Comparativa do uso do solo em área de preservação permanente da bacia hidrográfica do rio novo - ES.. In: VII Congresso Florestal Latino-Americano. Anais...Vitória(ES) Golden Tulip Porto Vitória Hotel, 2018. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/conflat/94940-ANALISE-COMPARATIVA-DO->

ODUM EP. *Ecologia*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1988.

OLIVEIRA, Tiago José Freitas de et al.. Recuperação de Mata Ciliar Degradada: Custos e Avaliação do Desempenho. In: VII Congresso Florestal Latino-Americano. Anais...Vitória(ES) Golden Tulip Porto Vitória Hotel, 2018. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/conflat/94909-RECUPERACAO-DE-MATA-CILIAR-DEGRADADA--CUSTOS-E-AVALIACAO-DO-DESEMPENHO>>. Acesso em: 18/07/2018 11:49

Pinto, J. R. R.; Lenza, E. L. e Pinto, A. de S. *Revista Brasileira Botânica*, V.32, n.1, p.1-10, jan.-mar. 2009.

VENANCIO, S. M; BRITO, E., R.; FILHO, A., T., O., de. Composição florística de duas florestas inundáveis na Planície do Araguaia, Estado do Tocantins, Brasil, e comparação com outras áreas. *Rev. Árvore* [online]. 2008, vol.32, n.1, pp.129-141

VL Silva Neto, AL Oliveira, RQS Ferreira, PB Souza, MR Viola, "Fitossociologia e distribuição diamétrica de uma área de cerrado *sensu stricto*, Dueré – TO". *Revista de Ciências Ambientais*. v. 10, n.1, Jun, pp. 91-106, 2016.

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 06/08/2021

Gabriel Homero Barros Vieira

Universidade Federal do ABC – UFABC –
Engenharia Aeroespacial
Santo André – SP
<http://lattes.cnpq.br/0727498980513540>

Claudia Celeste Celestino de Paula Santos

Universidade Federal do ABC – UFABC –
Engenharia Aeroespacial
Santo André – SP
<http://lattes.cnpq.br/0009886992977886>

RESUMO: O estudo das manobras orbitais é necessário para a realização de missões espaciais, seja ela destinada ao espaço profundo ou simplesmente para colocar um objeto em órbita ao redor da Terra. Este trabalho, se dedica a estudar as manobras de fase a partir da análise das condições ótimas em termos de consumo de combustível para cada situação considerada. Para isso, foi realizado um levantamento de diversos tipos de transferências orbitais, como por exemplo, Hohmann; bi-elíptica; mudança de plano; não coaxiais, e estas foram aplicadas na realização de manobras de fase. Utilizou-se a ferramenta computacional MATLAB para determinar as situações ótimas de cada caso. Dentre os principais resultados, pode-se destacar: i) foi demonstrado que a transferência orbital partindo do perigeu ou do apogeu da órbita sempre é mais econômica;

ii) foram determinadas as razões de raios que fornecem os mínimos e máximos do incremento de velocidade necessário quando se considera uma manobra orbital entre duas órbitas com diferentes valores de excentricidades; iii) foi avaliado como a excentricidade influencia no consumo de combustível; e iv) foram obtidas expressões analíticas gerais para manobras específicas em função da excentricidade, razão dos raios e anomalia verdadeira. Os resultados destes estudos podem contribuir para a tomada de decisão em missões espaciais reais onde se pretende consumir o mínimo de combustível.

PALAVRAS-CHAVE: Manobra orbital, transferência de órbita, incremento de velocidade.

A STUDY ON PHASING MANEUVERS

ABSTRACT: The study of orbital maneuvers is necessary to perform space missions aimed at deep space or simply to place an object in orbit around the Earth. This work is dedicated to the study of phasing maneuvers based on the analysis of the optimum conditions in terms of fuel consumption for each situation considered. For this, a survey of different types of orbital transfers was carried out, such as Hohmann, Bielliptic transfer, Plane change maneuvers, Apse line rotation, and these were applied in the performance of phasing maneuvers. The computational tool MATLAB was used to determine the optimal situations for each case. Among the main results, the following can be highlighted: i) it was demonstrated that the orbital transfer from the perigee or the apogee of the orbit is always more economical; ii) the radius ratios that provide the minimum and maximum speed

increment necessary when considering an orbital maneuver between two orbits with different values of eccentricities were determined; iii) it was evaluated how eccentricity influences fuel consumption; and iv) general analytical expressions were obtained for specific maneuvers as a function of eccentricity, radius ratio and true anomaly. The results of these studies can contribute to decision-making in real space missions where it is intended to consume the least amount of fuel.

KEYWORDS: Orbital maneuver, Orbit transfer, Velocity increment.

1 | INTRODUÇÃO

Durante o século XX, inúmeras missões espaciais têm sido desenvolvidas e aplicadas marcando o desenvolvimento da área aeroespacial. Com o grande avanço da tecnologia espacial ocorrido nas últimas décadas, aumentaram-se também os desafios de se colocar objetos espaciais em órbitas desejadas.

Muitas vezes, um veículo lançado não é colocado em sua órbita ideal, ou seja, o veículo não é colocado na órbita para a qual ele foi projetado. Com isso, torna-se necessário a realização de uma manobra de transferência de órbita (da Fonseca et al., 2010). Portanto, o estudo de manobras orbitais, é um assunto de extrema importância para as missões espaciais. Neste sentido, o trabalho pioneiro para a determinação do incremento de velocidade otimizado em função do consumo de combustível foi o trabalho de Hohmann (1925) em que estudou a transferência ótima de um veículo espacial entre duas órbitas circulares e coplanares.

Dentre inúmeras aplicações de manobra orbital, tem-se as manobras de fase que podem ser feitas com a realização de uma alteração no ângulo da anomalia verdadeira do veículo. Esta manobra tem uma boa aplicação para satélites geoestacionários (Curtis, 2005), pois, uma vez que um satélite que está nesta órbita consegue coletar dados somente da face terrestre que está parada em relação a ele, a manobra de fase permite que se mude a localização do satélite na órbita e, conseqüentemente, a visualização de outras partes do globo pelo satélite. Além disso, outra aplicação para manobras de fase é a chamada manobra de rendez-vous, que consiste no encontro entre dois veículos espaciais em um determinado ponto no espaço.

Diante da importância das manobras de fases, tiveram vários trabalhos importantes a respeito do assunto, dentre eles, pode-se citar: i) McCue (1963), foi um dos pioneiros ao abordar a possibilidade de rendez-vous em seu trabalho intitulado “Optimum Two-Impulsive Orbital Transfer and Rendez-vous Between Inclined Elliptical Orbits”; ii) Billik e Roth (1964), Prussing (1969 e 1970) e Gross e Prussing (1974) que utilizaram métodos impulsivos ótimos para diferentes aplicações de manobra de rendez-vous; iii) Lopez e McInnes (1995) que fizeram um trabalho sobre rendez-vous autônomos; iv) Luo et al. (2007), que publicaram um modelo de otimização para manobras considerando situações de múltiplos impulsos e múltiplas revoluções em “Optimization of Multiple-Impulse, Multiple-Revolutions Rendez-

vous-Phasing Maneuvers”; v) Hall e Collazo-Perez (2003) que estudaram numericamente as manobras de fase de tempo mínimo; vi) Bevilacqua e Romano (2008) que no trabalho “Rendez-vous Maneuvers of Multiple Spacecraft Using Differential Drag Under J2 Perturbation” introduziram um método de estabilização de órbita e rendez-vous autônomo de um grupo de múltiplos veículos espaciais utilizando o arrasto aerodinâmico diferencial.

Desta forma, nota-se que um dos principais desafios de uma missão espacial é a redução de custos e uma estratégia adotada é a otimização da manobra orbital propulsionada que consuma a menor quantidade de combustível possível.

2 | OBJETIVO

Assim, os objetivos foram estudar as manobras e avaliar os possíveis métodos para a realização da manobra de fase com relação ao consumo otimizado de combustível.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente, considerando o problema restrito de dois corpos, deduz-se equações que descrevem o incremento de velocidade necessário para realizar as manobras nas situações consideradas neste trabalho. Em seguida, usa-se o software MATLAB para gerar gráficos para auxiliarem nas análises realizadas a fim de determinar as condições que fornecem o incremento mínimo de velocidade. A manobra de Rendez-vous, foco deste trabalho, é conhecida como manobra de encontro, onde se pretende interceptar outro veículo espacial. Essa manobra será avaliada em alguns casos com relação à otimização do consumo de combustível e será deduzido algumas equações que serão utilizadas para realizar as análises.

3.1 Lista de variáveis

θ_A : Anomalia verdadeira do ponto de início da manobra.

θ_B : Anomalia verdadeira do ponto de chegada da manobra.

e_1 : Excentricidade da órbita inicial.

e_2 : Excentricidade da órbita de transferência.

e_3 : Excentricidade da órbita final.

h_1 : Momento angular da órbita inicial.

h_2 : Momento angular da órbita de transferência.

h_3 : Momento angular da órbita final.

r_A : Raio do ponto de início da manobra.

r_B : Raio do ponto de chegada da manobra.

μ : Parâmetro gravitacional.

3.2 Caso geral para transferência entre órbitas coplanares e coaxiais:

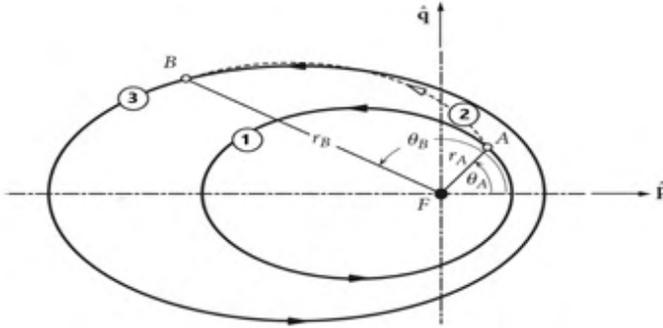


Figura 1 – Caso geral de Transferência entre duas órbitas elípticas coplanares e coaxiais.

Fonte: Curtis, 2005.

A figura 1 ilustra a transferência entre duas órbitas coaxiais e coplanares onde a trajetória de transferência não é necessariamente tangente às órbitas. O problema em questão é calcular o incremento de velocidade (Δv) requerido para a transferência avaliando em quais situações o consumo de combustível é otimizado dado o raio da posição inicial e final (r_A e r_B) e a anomalia verdadeira inicial e final (θ_A e θ_B). Usando a equação polar da trajetória deduzida do problema reduzido de dois corpos e definindo a razão entre os raios de chegada e saída como $\alpha = r_B/r_A$, chega-se, facilmente, nas seguintes relações úteis:

$$e_2 = \frac{\alpha - 1}{\cos \theta_A - \alpha \cos \theta_B} \quad (1)$$

$$\cos \theta_B = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{1 - \alpha}{e_2} + \cos \theta_A \right) \quad (2)$$

$$\cos \theta_A = \frac{1}{e_2} (1 - \alpha) + \alpha \cos \theta_B \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{1 + e_2 \cos \theta_A}{1 + e_2 \cos \theta_B} \quad (4)$$

$$\cos \theta_A = \frac{h_2^2 - h_1^2}{h_1^2 e_2 - e_1 h_2^2} \quad (8)$$

$$h_2 = \sqrt{\mu r_A} \sqrt{\frac{\alpha (\cos \theta_A - \cos \theta_B)}{\cos \theta_A - \alpha \cos \theta_B}} \quad (5)$$

$$h_1 = \sqrt{\frac{1 + e_1 \cos \theta_A}{1 + e_2 \cos \theta_A}} h_2 \quad (6)$$

$$h_3 = \sqrt{\frac{1 + e_3 \cos \theta_B}{1 + e_2 \cos \theta_B}} h_2 \quad (7)$$

$$\cos \theta_B = \frac{h_3^2 - h_2^2}{h_2^2 e_3 - e_2 h_3^2} \quad (9)$$

Quando o $\overrightarrow{\Delta v}$ não é aplicado no perigeu ou no apogeu, além de uma mudança na velocidade, é necessária uma alteração na direção do vetor velocidade. Portanto, para um caso geral e assumindo um sistema girante em que \hat{e}_r é o vetor unitário radial e \hat{e}_\perp é o vetor unitário perpendicular à radial, tem-se $\overrightarrow{\Delta v}$ no ponto A, que é:

$$\overrightarrow{\Delta v}_A = (v_{r,2} - v_{r,1})\hat{e}_r + (v_{\perp,2} - v_{\perp,1})\hat{e}_\perp \quad (10)$$

Em que $v_{\perp,2}$, $v_{\perp,1}$, $v_{r,2}$ e $v_{r,1}$ indicam as componentes perpendiculares e

radiais das velocidades v_2 e v_1 . Segundo Curtis (2005), as componentes da velocidade podem ser calculadas da seguinte maneira:

$$v_r = \frac{\mu}{h} e \sin \theta \quad (11) \quad v_{\perp} = \frac{\mu}{h} (1 + e \cos \theta) \quad (12)$$

Logo, pode-se chegar que:

$$\Delta v_A^2 = \mu^2 \left[\left(\frac{e_2}{h_2} - \frac{e_1}{h_1} \right)^2 + \left(\frac{1}{h_2} - \frac{1}{h_1} \right)^2 + 2 \left(\frac{e_2}{h_2} - \frac{e_1}{h_1} \right) \left(\frac{1}{h_2} - \frac{1}{h_1} \right) \cos \theta_A \right] \quad (13)$$

A equação (13) permite calcular o Δv tendo somente r_A , r_B , θ_A , θ_B e e_1 como variáveis. Além disso, a expressão (13) tem boa aplicação para as manobras de emergência, pois, ela retorna o Δv requerido para lançar o veículo espacial para o ponto de encontro na órbita final indicado por r_B e θ_B . Sabendo que: $h_2 = \sqrt{\mu r_A (1 + e_2 \cos \theta_A)}$ e $h_1 = \sqrt{\mu r_A (1 + e_1 \cos \theta_A)}$.

Obtém-se uma outra expressão que descreve o incremento de velocidades (Δv):

$$C_1 = \sqrt{\frac{e_1^2 + 2e_1 \cos \theta_A + 1}{1 + e_1 \cos \theta_A} + \frac{e_2^2 + 2e_2 \cos \theta_A + 1}{1 + e_2 \cos \theta_A} - \frac{2[1 + e_2 e_1 + (e_2 + e_1) \cos \theta_A]}{\sqrt{(1 + e_2 \cos \theta_A)(1 + e_1 \cos \theta_A)}}} \quad (14)$$

C_1 é a razão entre o Δv_A e a velocidade circular de raio r_A que é definida por $v_{c,A} = \sqrt{\frac{\mu}{r_A}}$, portanto, $C_1 = \Delta v_A / v_{c,A}$.

A expressão (14) permite avaliar o comportamento do Δv em função das variáveis geométricas e_2 , e_1 e θ_A , além de obter uma razão do Δv com a velocidade circular. A equação (14) é interessante para se realizar um estudo numérico, uma vez que possibilita determinar as situações nas quais o Δv é maior ou menor que a velocidade circular. Sendo assim, a expressão (14) tem grande aplicação para manobras de interceptação, ou, em outras palavras, de Rendez-vous, pois está intrinsecamente ligada ao ponto de chegada de interesse a ser interceptado através da equação (1).

Das equações (10), (11) e (12), pode-se obter também uma expressão para a razão entre as velocidades v_2 e v_1 :

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\left(\frac{e_2^2 + 2e_2 \cos \theta_A + 1}{1 + e_2 \cos \theta_A} \right) \left(\frac{1 + e_1 \cos \theta_A}{e_1^2 + 2e_1 \cos \theta_A + 1} \right)} \quad (15)$$

Portanto, pode-se obter que: $\Delta v_A / v_1 = |(v_2 / v_1) - 1|$.

Assim, torna-se possível avaliar o comportamento da razão entre o incremento de velocidade (Δv_A) e a velocidade v_1 . No caso em que se interessa encontrar a diferença entre o ângulo de voo da órbita inicial e a órbita de transferência para se saber a direção a qual o $\vec{\Delta v}$ deve ser aplicado, também se pode obter em função de e_2 , e_1 e θ_A . Partindo da equação do ângulo de voo e utilizando as relações trigonométricas, a diferença entre

os ângulos de voo da órbita de transferência dado por y_2 e a órbita inicial representado por y_1 , tem-se:

$$\tan \Delta\gamma = \frac{(e_2 - e_1) \sin \theta_A}{(e_2 + e_1) \cos \theta_A + e_2 e_1 + 1} \quad (16)$$

A equação (16) mostra que quando a anomalia verdadeira assume os valores 0 ou π radianos, a diferença entre y_2 e y_1 será nula, isso implica que o $\overrightarrow{\Delta v}$ seria aplicado na direção da velocidade do veículo espacial. Da equação (16) também fica claro que, para dados e_2 e e_1 , o $\Delta\gamma$ é máximo quando θ_A for igual a $\pi/2$ ou $3\pi/2$ radianos.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação do Δv total variando as excentricidades das órbitas externa e interna

Neste caso, interessa-se avaliar o comportamento do total quando as excentricidades das órbitas interna (órbita 1) e externa (órbita 3) estão variando. Para isso, utilizou-se a equação (13) para calcular o Δv_A e o Δv_B , que são, respectivamente, o incremento de velocidade aplicado no ponto inicial pertencente à órbita 1 e no ponto que se deseja chegar da órbita 3.

Para gerar a figura 2, e_3 e e_1 estão variando e r_A , r_B , θ_A e θ_B estão fixos da seguinte maneira: $r_A=7.000km$; $\theta_A=0$; $r_B=96.000km$ e $\theta_B=\pi$.

Através das equações (1), (5), (6) e (7) são computados, respectivamente, e_2 , h_2 , h_1 e h_3 .

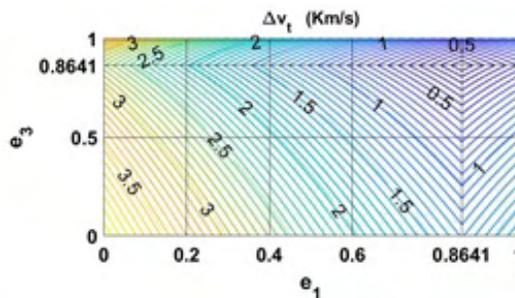


Figura 2 - Comportamento do Δv total variando as excentricidades das órbitas 1 e 3.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Analisando a figura 2, avalia-se que quanto mais próximo de 0,8641 são as excentricidades da órbita interna e externa, mais econômica é a transferência, o que de fato faz sentido, pois, no momento em que se fixou que o veículo espacial sairia do perigeu da órbita 1 ($r_A=7.000km$) e chegaria no apogeu da órbita 2 ($r_B=96.000km$), a excentricidade

da órbita de transferência (e_2) é aproximadamente 0,8641. Isso significa que, para este caso, quando as órbitas 1 e 3 têm excentricidade igual a 0,8641, as órbitas 1 e 3 coincidem com a órbita 2 de transferência e, portanto, o Δv_t é zero. A partir desta análise, conclui-se que os valores de excentricidades de uma órbita interna e outra externa que minimizam o incremento de velocidade são aqueles valores mais próximos da excentricidade da órbita de transferência.

4.2 Comportamento do Δv total entre duas órbitas circulares

Nesta secção, interessa-se avaliar como é a função do total entre duas órbitas circulares quando a razão dos raios, $\alpha=r_B/r_A$, varia. Com o objetivo de analisar o comportamento do Δv_t em função da razão dos raios sem ser necessário fixar um valor para r_A , utiliza-se as equações (14) e (1). Dessa forma, é plotado o comportamento de $\Delta v_t/v_{c,A}$ por r_B/r_A , em que $v_{c,A}$ é a velocidade circular da órbita interna. obtendo a figura 3.



Figura 3 - A razão do pela velocidade circular da órbita interna em função de α .

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 3, além de permitir avaliar o comportamento da razão do Δv_t , pela velocidade circular da órbita interna, permite determinar alguns valores interessantes. Aplicando o limite onde r_B/r_A tende para o infinito na função $\Delta v_t/v_{c,A}$, tem-se:

$$\lim_{\frac{r_B}{r_A} \rightarrow \infty} \frac{\Delta v_t}{v_{c,A}} \approx 0,4142$$

Portanto, à medida que a razão dos raios vai aumentando, a razão $\Delta v_t/v_{c,A}$ tende para 0,4142. Consequentemente, conclui-se que após $\Delta v_t/v_{c,A}$ atingir o valor máximo, por mais que a razão dos raios aumente, é impossível realizar a manobra em questão utilizando um incremento de velocidade que proporcione $\Delta v_t/v_{c,A} < 0,4142$. A razão de raios 15,5817 fornece a razão máxima entre Δv_t e $v_{c,A}$ que é igual a 0,5363. Tendo-se encontrado o ponto máximo, conclui-se que para uma transferência entre duas órbitas

coplanares e circulares a razão $\Delta v_t/v_{c,A}$ jamais será maior que 0,5363.

De acordo com a figura 16, a razão de raios que fornece a razão $\Delta v_t/v_{c,A}$ máxima é 15,5817. Substituindo esse valor na equação (1) que calcula a excentricidade da órbita de transferência (e_2), tem-se o valor da excentricidade da órbita de transferência equivalente à razão $\Delta v_t/v_{c,A}$ máxima para uma transferência entre duas órbitas circulares que é igual a .

De fato, gerando um gráfico onde $\Delta v_t/v_{c,A}$ varia em função de e_2 , como mostrado na figura 4, constata-se numericamente que quando a excentricidade da órbita de transferência entre duas órbitas circulares é igual a 0,8794, é obtido o valor máximo para $\Delta v_t/v_{c,A}$ que é igual a 0,5363.

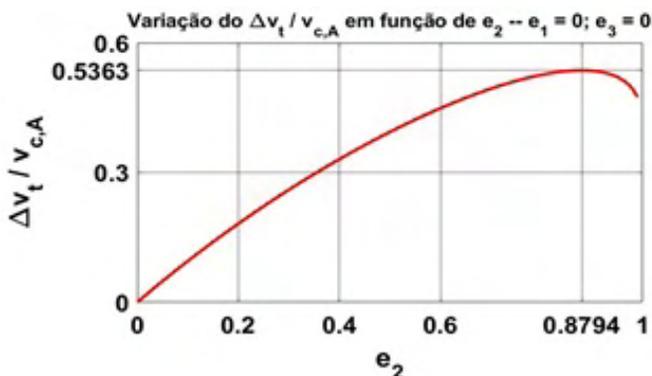


Figura 4 - Transferência entre órbitas circulares com e_2 variando.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Comportamento do Δv total quando a órbita interna tem excentricidade maior que zero:

Agora, nesta presente secção, pretende-se fazer as mesmas análises, porém para vários valores de excentricidade da órbita interna (e_1). Utilizando as equações (1) e (14), a figura 5 apresenta $\Delta v_t/v_{c,A}$ em função da razão dos raios para alguns valores de e_1 , mostrando os valores de mínimos e máximos para as curvas geradas.

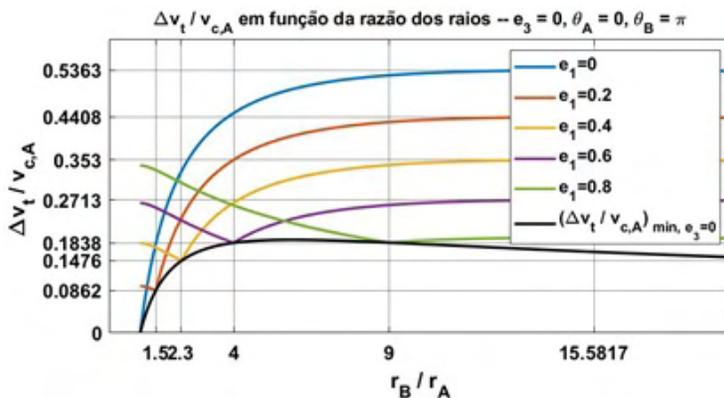


Figura 5 - $\Delta v_t/v_{c,A}$ para vários valores de excentricidade da órbita interna.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Avaliando a figura 5, percebe-se que a curva azul (referente à $e_1=0$) representa a mesma situação apresentada na figura 4, em que a função cresce até atingir o ponto (15,5817 ; 0,5363) e depois decresce de forma suave, porém, tendendo a um valor quando r_B/r_A tende ao infinito. O mesmo acontece com excentricidades maior que zero, entretanto, percebe-se que antes da curva atingir um máximo local e em seguida se estabilizar em um valor no infinito, ocorre pontos de mínimos. Por exemplo, a curva $\Delta v_t/v_{c,A}$ em função de r_B/r_A quando $e_1=0,6$, tem um Δv_t mínimo de $0,1838v_{c,A}$ que acontece quando a razão dos raios é igual a 4 e um máximo de $0,2713v_{c,A}$ com a razão de raios de 15,5817. É interessante observar que a razão de raios de aproximadamente 15,5817 é a razão que fornece o Δv_t máximo local de todas as curvas apresentadas na figura 5. Como ilustrado na figura 6, os pontos de mínimos indicados na figura 5, acontecem quando $e_2=e_1$, isto é, a órbita inicial já tangencia a órbita circular externa que se deseja chegar, sendo necessário somente o Δv_2 , aplicada no apogeu da órbita, para realizar a transferência. Isso se verifica ao substituir a situação descrita na equação (14), em que a equação para o Δv_1 é igual a zero.

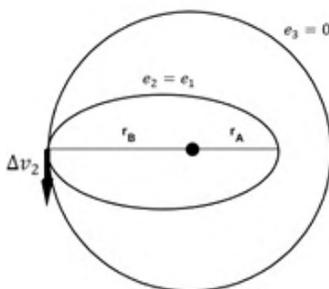


Figura 6 - condição para o Δv mínimo quando órbita externa é circular e a interna elíptica.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, da figura 6, tem-se que $e_2 = e_1$, $e_3 = 0$ e $\theta_2 = \pi$. Obtendo assim a equação (17) que descreve a curva em preto da figura 5:

$$\left(\frac{\Delta v_t}{v_{c,A}}\right)_{\min, e_3=0} = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \sqrt{2 \left(\frac{1}{\alpha + 1} - \sqrt{\frac{2}{\alpha + 1}} \right) + 1} \quad (17)$$

Sabendo que $\alpha = (1 + e_1) / (1 - e_1)$, obtém-se a equação (17) em função da excentricidade da órbita interna:

$$\left(\frac{\Delta v_t}{v_{c,A}}\right)_{\min, e_3=0} = \sqrt{\frac{1 - e_1}{e_1 + 1}} \sqrt{2(1 - \sqrt{1 - e_1}) - e_1} \quad (18)$$

Aparentemente, as equações (17) e (18) retornam o incremento de velocidade mínimo possível de se alcançar para $e_1 > 0$ e $e_3 = 0$. Porém, analisando a figura 7, percebe-se que as equações (17) e (18) são válidas para determinar $\Delta v_t / v_{c,A}$ mínimo possível apenas para excentricidades aproximadamente menores que 0.85. Entretanto, elas podem ser utilizadas para se calcular o Δv_t para a situação ilustrada na figura 6 para qualquer e_1 .

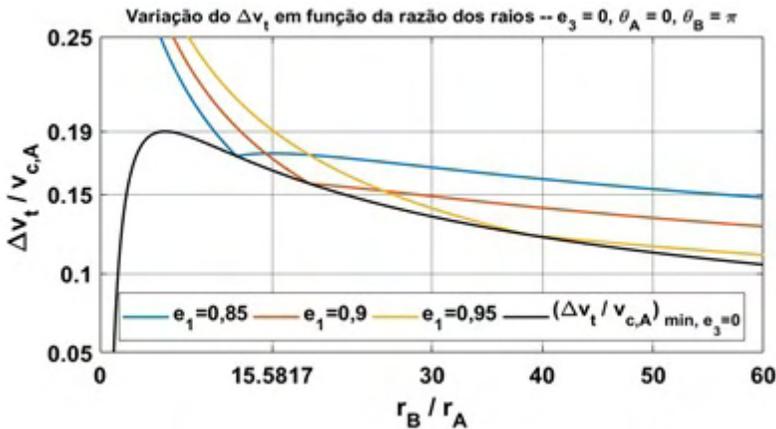


Figura 7 - $\Delta v_t / v_{c,A}$ em função da razão de raios para órbitas internas muito excêntricas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Da figura 7, evidencia-se que para órbitas internas muito excêntricas, aproximadamente, $e_1 > 0.85$, os pontos descritos pela equação (17) deixam de ser os mínimos possíveis, pois à medida que e_1 se aproxima de 1, esses pontos deixam de ser mínimos e o Δv_t continua diminuindo com o aumento da razão dos raios. Outro detalhe que se observa é com relação aos pontos de máximos locais que já não é mais associado à razão 15.5817, uma vez que para uma muito excêntrica, por exemplo, $e_1 = 0.9$, o comportamento do incremento de velocidade deixa de ter um máximo local, em que sempre diminui junto

com o aumento de α (razão r_B/r_A) e tende a um valor no infinito. Para avaliar as relações (17) e (18), gerou-se as figuras 8 e 9.

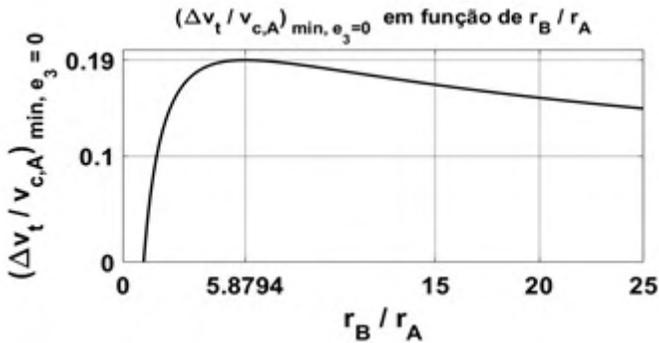


Figura 8 – Gráfico dos pontos mínimos quando $e_3=0$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Da figura 8, tem-se que o comportamento de $(v_t/v_{c,A})_{min, e_3=0}$ em função da razão dos raios apresenta um ponto de máximo que acontece quando $\alpha=5,8794$. Nesta razão, obtém-se o consumo máximo dentre todos os pontos mínimos que é de $0.19 v_{c,A}$. A excentricidade associada à razão de raios de 5,8794 é 0,7093. Esse valor pode ser calculado através da relação (1.58) e é possível verificar numericamente como é mostrado na figura 9, onde o consumo máximo de $0.19 v_{c,A}$ acontece quando $e_2 = e_1 = 0,7093$.

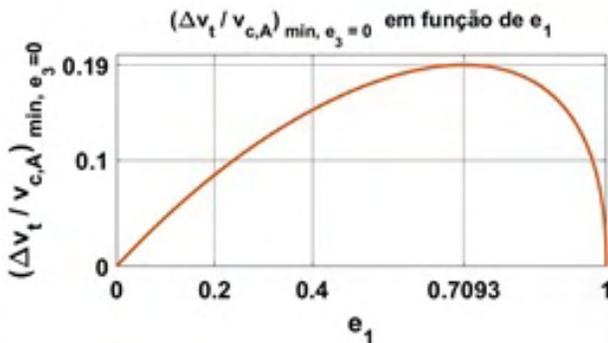


Figura 9 – Influência de e_1 em $(v_t/v_{c,A})_{min, e_3=0}$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 Comportamento do Δv total quando $e_3=0$ e e_3 maior que zero:

Nesta secção, deseja-se analisar como $\Delta v_t/v_{c,A}$ se comporta quando a excentricidade da órbita interna é fixada como sendo circular e a excentricidade da órbita

externa que se deseja chegar é maior que zero.

Para isso, utilizou-se a equação (14) para se obter $\Delta v_t / v_{c,A}$. A figura 10 representa $\Delta v_t / v_{c,A}$ em função de r_B / r_A , porém, desta vez foram geradas curvas para alguns valores de e_3 a fim de comparar e avaliar o comportamento do incremento de velocidade necessário para a transferência entre uma órbita circular interna e uma órbita externa elíptica.

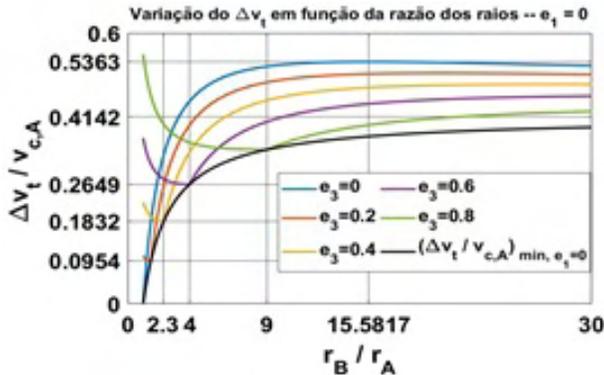


Figura 10 - $v_t / v_{c,A}$ para vários valores de excentricidade da órbita externa.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 10, observa-se que a curva azul representada que ocorre quando $e_3=0$, é a mesma situação representada na figura 3 onde o ponto máximo é (15,5817; 0,5363). Entretanto, ao contrário do que foi discutido anteriormente, à medida que a excentricidade e_3 aumenta, a razão de raios que fornece o consumo máximo local (que ocorre após atingir um ponto mínimo) se desloca para valores maiores que 15,5817. É importante observar que as razões r_B / r_A associadas aos pontos de mínimos mostrados na figura 10, são as mesmas razões que fornecem os mínimos globais na situação considerada na figura 5, em que o que era fixado como órbita circular era a órbita externa. Além disso, todas as curvas presentes na figura 10 tendem para o mesmo valor no infinito que é aproximadamente 0,4142.

Novamente, assim como se constatou no caso considerado na figura 5, o comportamento do Δv_t apresenta mínimos globais, como é mostrado na figura 10. Portanto, pode-se obter uma equação que descreve todos esses pontos sabendo que eles acontecem de acordo como é descrito na figura 11.

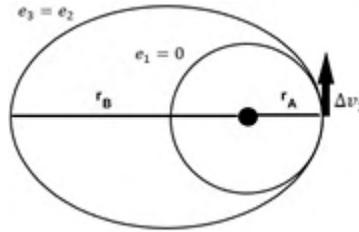


Figura 11 – Situação em que o consumo de combustível é mínimo quando $e_1=0$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os pontos de mínimos para esse caso, dá-se quando o perigeu da órbita elíptica tangencia a órbita circular interna, tornando-se necessário somente o primeiro incremento de velocidade (Δv_1). Isso significa que a órbita de transferência coincide com a órbita de chegada, consequentemente, elas têm a mesma excentricidade, isto é, $e_2=e_3$. Impondo esta condição, obtém-se uma equação que descreve todos os mínimos necessários, em que $\Delta v_2/v_{c,A} = 0$ e $\Delta v_t/v_{c,A} = \Delta v_2/v_{c,A}$, logo:

$$\left(\frac{\Delta v_t}{v_{c,A}}\right)_{\min, e_1=0} = \sqrt{2(1 - \sqrt{e_3 + 1}) + e_3} \quad (19)$$

Escrevendo agora em função da razão dos raios (α), tem-se:

$$\left(\frac{\Delta v_t}{v_{c,A}}\right)_{\min, e_1=0} = \sqrt{2\left(1 - \sqrt{\frac{2\alpha}{1+\alpha}}\right) + \frac{\alpha-1}{1+\alpha}} \quad (20)$$

A equação (20) é representada pela curva em preto da figura 10. As equações (20) e (19), de fato, descrevem todos os pontos mínimos possíveis de se obter para qualquer $0 \leq e_3 \leq 1$ quando $e_1=0$. Além disso, é interessante perceber que a equação (20) quando $\alpha \rightarrow \infty$, $\left(\Delta v_t/v_{c,A}\right)_{\min, e_1=0} \rightarrow 0,4142$. Para analisar a expressão (19), gerou-se a figura 12:

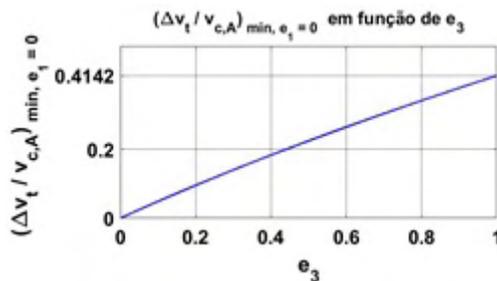


Figura 12 – Influência de e_3 no comportamento do $\left(\Delta v_t/v_{c,A}\right)_{\min, e_1=0}$.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Da figura 12, tem-se que o incremento de velocidade aumenta quase que linearmente à medida que a excentricidade aumenta. Portanto, quando o interesse é lançar o veículo espacial de uma órbita circular para uma órbita excêntrica externa, é melhor que a transferência ocorra em baixas excentricidades.

4.5 Avaliação do comportamento do Δv_t com variação das anomalias verdadeiras

Segundo Hohnman (1960) a melhor condição para se realizar uma manobra orbital acontece quando o veículo sai do perigeu da órbita interna e chega no apogeu da órbita externa ou vice-versa. Isso pode ser verificado analiticamente. De acordo com Curtis (2005), pode-se calcular o Δv_A da seguinte maneira:

$$\Delta v_A = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos(\Delta\gamma)} \quad (21)$$

Derivando em função de $\Delta\gamma$ e igualando a zero para encontrar o mínimo da equação (21), tem-se que $v_1v_2 \sin \Delta\gamma$ deve ser nulo. Portanto, quando $\Delta\gamma=0^\circ$, o Δv é mínimo. Esse tipo de situação em que as diferenças dos ângulos de voo é 0° acontece no perigeu e no apogeu da órbita, pois, nesses pontos, o vetor velocidade não tem componente radial e, conseqüentemente, a velocidade é tangente à órbita e os vetores \vec{v}_1 e \vec{v}_2 são paralelos, não sendo necessário consumir combustível para mudar a direção do vetor velocidade do veículo espacial uma vez que necessita somente de modificar a velocidade em módulo. Demonstrando, então, que o perigeu e o apogeu são os locais mais econômicos para se realizar uma transferência.

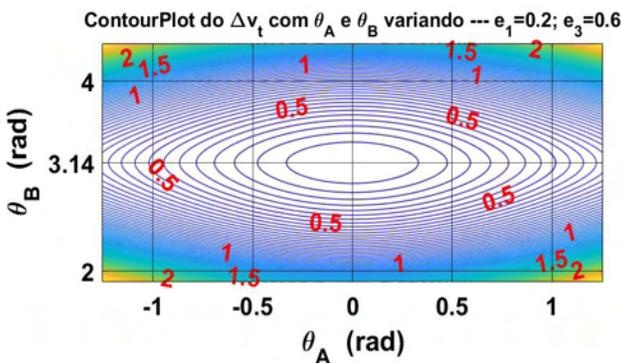


Figura 13 – Influência das anomalias verdadeiras no Δv_t .

Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 13 foi gerada através da equação 14 e ilustra uma situação para demonstrar que de fato o perigeu e o apogeu das órbitas internas e externas são os pontos mais econômicos para se realizar a transferência orbital. Verificando numericamente o que foi

obtido analiticamente.

5 | CONCLUSÕES

O objetivo foi estudar manobras orbitais e mais especificamente a manobra de fase. Assim, foram realizadas simulações numéricas avaliando algumas das equações desenvolvidas neste trabalho. A partir destas simulações e analisando algumas funções que descrevem o Δv aplicado, verificou-se que os resultados condizem com os que se fazem presentes na bibliografia. Com relação aos resultados, foram deduzidas algumas equações gerais que descrevem o comportamento do incremento de velocidade em função somente de parâmetros geométricos, ou seja, uma vez que independe do parâmetro gravitacional μ , essas equações e, conseqüentemente, as razões de raios associadas aos mínimos e máximos, são válidas para qualquer sistema dinâmico na qual as hipóteses do problema de dois corpos sejam válidas.

Tendo em vista a generalidade das equações utilizadas e as simulações numéricas feitas, independente de qual seria o corpo principal que estaria sendo orbitado por um veículo espacial, pode-se concluir que: (i) os pontos próximos às anomalias verdadeiras 0 e π são os locais mais interessantes, em relação ao consumo de combustível, de realizar a manobra orbital; (ii) para grandes razões de raios a transferência entre uma órbita circular e outra elíptica será mais econômica do que entre duas órbitas circulares; (iii) Como é mostrado na figura 4, quando a excentricidade da órbita de transferência entre duas órbitas circulares é igual a 0,8794, o consumo de combustível é máximo. Portanto, este valor e os valores de excentricidades próximo a este, devem ser evitados para tornar a manobra de fase mais econômica. (iiii) Em uma situação em que a transferência ocorre de uma órbita circular para uma órbita elíptica e a razão dos raios sejam extremamente grandes (de modo que poderia se considerar que a razão tende para o infinito) o Δv poderia ser aproximado como 41,42% da velocidade circular do ponto de início da manobra.

FINANCIAMENTO

CNPq.

REFERÊNCIAS

Bevilacqua, R., & Romano, M. (2008). **Rendezvous maneuvers of multiple spacecraft using differential drag under J2 perturbation**. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 31(6), 1595-1607.

Billik, B. H., & Roth, H. L. (1964). **Studies relative to rendezvous between circular orbits**. AEROSPACE CORP EL SEGUNDO CALIF.

Curtis, H. D. (2005). **Orbital Mechanics for Engineering Students**, ch 1–5.

da Fonseca, J. B. D. S., de Almeida Prado, A. F. B., & Zanardi, M. C. F. (2010). **Manobras de órbita e atitude de satélites artificiais.**

Gross, L. R., & Prussing, J. E. (1974). **Optimal multiple-impulse direct ascent fixed-time rendezvous.** AIAA Journal, 12(7), 885-889.

Hall, C. D., & Collazo-Perez, V. (2003). **Minimum-time orbital phasing maneuvers.** Journal of guidance, control, and dynamics, 26(6), 934-941.

Hohmann, W. (1960). **The Attainability of Heavenly Bodies(Die Erreichbarkeit der Himmelskoerper).** NASA, (19980230631).

Lopez, I., & McInnes, C. R. (1995). **Autonomous rendezvous using artificial potential function guidance.** Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 18(2), 237-241.

Luo, Y. Z., Tang, G. J., Li, Y. J., & Li, H. Y. (2007). **Optimization of multiple-impulse, multiple-revolution, rendezvous-phasing maneuvers.** Journal of Guidance, Control, and Dynamics, 30(4), 946-952.

MC CUE, G. A. (1963). **Optimum two-impulse orbital transfer and rendezvous between inclined elliptical orbits.** AIAA Journal, 1(8), 1865-1872.

Prussing, J. E. (1969). **Optimal four-impulse fixed-time rendezvous in the vicinity of a circular orbit.** AIAA Journal, 7(5), 928-935.

Prussing, J. E. (1970). **Optimal two-and three-impulse fixed-time rendezvous in the vicinity of a circular orbit.** AIAA Journal, 8(7), 1221-1228.

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO CARREGADOS COM FARINHA DE BAGAÇO DE MANDIOCA

Data de aceite: 01/11/2021

Alexsandro Bussinger Bon

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Instituto Politécnico
Nova Friburgo, RJ, Brasil

Nancy Isabel Alvarez Acevedo

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Instituto Politécnico
Nova Friburgo, RJ, Brasil

Marisa Cristina Guimarães Rocha

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Instituto Politécnico
Nova Friburgo, RJ, Brasil

RESUMO: O reaproveitamento de resíduos agroindustriais é extremamente importante do ponto de vista ambiental. Nesse contexto, compósitos de polipropileno (PP) carregados com farinha de bagaço de mandioca (FBM) foram desenvolvidos. Polipropileno graftizado com anidrido maleico (PP-g-AM), em teor de 2% (m/m), foi incorporado a algumas amostras do polímero, visando melhorar o desempenho mecânico dos materiais produzidos. Os teores de FBM adotados foram de 0, 15 e 30% (m/m). As diferentes misturas foram processadas inicialmente em extrusora monorosca, e posteriormente em extrusora de rosca dupla. Ensaios de tração, flexão e de impacto dos compósitos foram efetuados de acordo com as normas ASTM D638, D790 e D256, respectivamente. Os corpos de prova foram preparados através de moldagem por injeção. Os resultados obtidos mostraram

que a adição do compatibilizante é fundamental para a obtenção de propriedades mecânicas superiores, e que o compósito 83/15/2 PP/FBM/PP-g-MA apresenta a melhor combinação das propriedades mecânicas analisadas.

PALAVRAS-CHAVE: Polipropileno, Farinha de bagaço de mandioca, Compósitos, Propriedades mecânicas.

EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE/CASSAVA BAGASSE FLOUR BLENDS

ABSTRACT: The reuse of agro-industrial residues is extremely important from an environmental point of view. In this context, polypropylene (PP) composites filled with cassava bagasse flour (FBM) were developed. Maleic anhydride grafted polypropylene (PP-g-MA), at a content of 2% (m/m), was incorporated into some samples of the polymer to improve the mechanical performance of the materials produced. The FBM contents adopted were 0, 15 and 30% (m/m). The different mixtures were initially processed in a single screw extruder, and later in a twin-screw extruder. Tensile, bending and impact tests of the composites were carried out in accordance with ASTM D638, D790 and D256 standards, respectively. The specimens were prepared by injection molding. The results obtained showed that the addition of the compatibilizer is essential to obtain superior mechanical properties and that the composite 83/15/2 PP/FBM/PP-g-MA presents the best combination of the analyzed mechanical properties.

KEYWORDS: Polypropylene, Cassava bagasse flour, Blends, Mechanical properties.

1 | INTRODUÇÃO

O bagaço de mandioca é um resíduo fibroso sólido, subproduto do processo produtivo industrial da farinha ou amido e é composto por grande quantidade de água, amido residual e fibras celulósicas (Moufarreg *et al.*, 2021; Ronko *et al.*, 2020; Peixoto e Resh, 2020; Fiorda *et al.*, 2013). Em geral, a quantidade e qualidade dos subprodutos produzidos no processamento industrial da mandioca varia conforme o cultivar (variedade vegetal), idade da planta, tempo pós colheita, clima, além do produto obtido (Ronko *et al.*, 2020).

O teor de umidade do bagaço de mandioca, após a etapa de processamento industrial é muito alto, cerca de 85%, tornando difícil o armazenamento e transporte desse material. Em consequência, o material apresenta um nível muito alto de perecibilidade. O processo de secagem e transporte envolve altos custos, desmotivando seu aproveitamento como subproduto. Somente uma pequena parte do bagaço de mandioca é destinada para alimentação de animais ou como fertilizante nos arredores das unidade de processamento, sendo seu descarte considerado como agente poluidor do meio ambiente (Moufarreg *et al.*, 2021; Ranko *et al.*, 2020; Barros *et al.*, 2019; Zenatti *et al.*, 2015).

O alto conteúdo de carboidratos presente na sua composição sugere seu uso como fonte de energia. Alguns estudos realizados visando sua aplicação na produção de bioetanol e plásticos biodegradáveis, entretanto, deram resultados pouco satisfatórios (Agustina *et al.*, 2019). O alto teor de fibras torna lento o processo em biodigestores. Pré-tratamentos vem sendo estudados para despolimerização das molécula complexas (hemicelulose, lignina), que compõem o bagaço (Mithra *et al.*, 2019; Zenatti *et al.*, 2015; Nair *et al.*, 2012). O bagaço de mandioca é um resíduo de baixo valor comercial, que além do alto teor de amido residual, também contem uma quantidade considerável de fibras naturais (Fiorda *et al.*, 2013), passível de utilização como fonte de celulose. Há estudos para obtenção de nanofibras celulósicas a partir do bagaço de mandioca (Leite *et al.*, 2017) e seu uso em filmes biodegradáveis (Schoeler *et al.*, 2020; Trabalini, 2019; Wicksono *et al.*, 2013).

A fibra obtida do bagaço de mandioca tem sido avaliada como uma carga de reforço natural destinada a melhorar o desempenho de biomateriais, atuando como um agente modificador das propriedades finais. Carvalho (2018) observou que a inserção de bagaço de mandioca em filmes de amido, promove incremento na tensão na ruptura e redução da permeabilidade ao vapor do filme, mostrando viável seu uso em embalagens. Versino e Garcia (2018) desenvolveram filmes de amido de mandioca reforçados com bagaço de mandioca, como substitutos de plásticos de cobertura (*mulching*) usados em diversos cultivos. Os filmes reforçados apresentaram incremento na permeabilidade ao vapor de água, da resistência à tração e do módulo elástico comparados com os filmes sem reforço. Sinais de envelhecimento foram, também, mais evidentes nos filmes sem reforço. Edhirej *et al.* (2017), não observaram efeito significativo da inserção do bagaço de mandioca nas

propriedades térmicas de filmes compósito amido/bagaço de mandioca. Observaram, entretanto, incrementos no módulo e na resistência à tração dos filmes. As melhores propriedades foram obtidas com um teor de 6 % de bagaço de mandioca. Versino et al. (2020), desenvolveram um sistema alternativo de dosagem para emissão controlada de uréia em plantações, baseado no biocompósito amido de mandioca/bagaço de mandioca funcionalizado com ureia. Agustina *et al.* (2019) desenvolveram painéis compostos a partir de misturas de fibras de açúcar de palma e fibras de bagaço de mandioca. As propriedades físicas e mecânicas desses painéis atendem o Padrão Industrial do Japão para painéis aglomerados.

Fibras celulósicas naturais estão desempenhando um papel importante em inúmeras aplicações, desde as últimas décadas devido as vantagens que apresentam do ponto de vista ambiental. Esses materiais estão sendo empregados, em diversas aplicações, como elementos de reforço alternativos às fibras sintéticas tradicionais. Compósitos reforçados com fibras celulósicas naturais apresentam várias vantagens em relação aos materiais convencionais, como, dureza considerável, aumento da rigidez, adequada processabilidade, disponibilidade, baixo custo, reciclabilidade e biodegradabilidade. Por outro lado, existem algumas desvantagens associadas com o uso de fibras naturais como reforço em compósitos poliméricos, como por exemplo, a sua incompatibilidade com matrizes poliméricas hidrofóbicas, tendência para formar agregados durante o processamento, baixa resistência à umidade, menor resistência às chamas, temperaturas de processamento limitadas e menor durabilidade (Kotic, 2019; Pinheiro *et al.*, 2015; Mohammed *et al.*, 2015; Azwa *et al.*, 2013; Dittenber and GangaRao, 2012).

A utilização de materiais termoplásticos e seus compósitos aumentou consideravelmente nos últimos anos. O polipropileno (PP) é um dos materiais de comodidade mais utilizado, devido a diversos fatores, como: versatilidade de aplicação, boa processabilidade, elevada resistência química, boa estabilidade térmica, baixa densidade, e ainda, o baixo custo. Além disso, o perfil de propriedades mecânicas possibilita a sua utilização como material de engenharia, principalmente através do desenvolvimento de compósitos. A incorporação de elementos de reforço ao polímero promove em geral, aumento da rigidez, da resistência mecânica e, em alguns casos, da resistência ao impacto e da tolerância ao dano (Constantino *et al.*, 2019; Mihalic *et al.*, 2019; Risnasari *et al.* 2018;).

O objetivo deste trabalho é avaliar as propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno carregados com farinha do bagaço de mandioca (PP/FBM), assim como o efeito da incorporação do compatibilizante, polipropileno graftizado com anidrido maleico (PP-g-AM) nas propriedades mecânicas, visando reaproveitar os resíduos gerados no processo de industrialização do amido de mandioca e, ao mesmo tempo, agregar melhores propriedades mecânicas à matriz polimérica.

2 | METODOLOGIA

2.1 Materiais

O polipropileno homopolímero (PP H603) com índice de fluidez (230 °C/ 2,16 Kg) de 1,5 g/10 min, foi fornecido pela empresa BRASKEM S.A. O bagaço de mandioca foi fornecido em estado seco, pela Fecularia Bela Vista Ltda. (Febela), localizada no município de Bela Vista de Goiás (GO). O material recebido foi armazenado devidamente ensacado e mantido a uma temperatura de 23 °C.

O antioxidante Irganox 1010 (densidade a 20 °C = 1,15g/ml; ponto de fusão = 110-125 °C) fornecido pela BASF, foi utilizado para prevenir a degradação do material. Polipropileno grafitizado com anidrido maleico (PP-g-AM), Polybond 3200 (índice de fluidez (ASTM D-1238) de 115g/10min; densidade a 23 °C =: 0,91 g/cm³; ponto de fusão = 157 °C) fornecido pela ADDIVANT, foi utilizado como agente compatibilizante.

2.2 Análise granulométrica da farinha de bagaço de mandioca

Para a obtenção da farinha de mandioca (FBM), o bagaço de mandioca foi submetido à um processo de moagem, se utilizando o moinho de bolas Marconi, MA701/21, durante um período de 72 horas. Antes da moagem, o material foi seco em estufa de circulação de ar Marconi, MA035/1080/E, e mantido em temperatura constante de 60 °C, durante um período de 12 h.

A análise granulométrica da FBM foi efetuada pela técnica de difração laser no equipamento Malvern, Mastersizer 2000, acoplado com uma unidade de dispersão de amostra do tipo Hydro 2000MU. A análise foi realizada em triplicata, se utilizando ultrassom para melhora a dispersão da amostra. Água destilada foi usada como meio dispersante.

2.3 Análise por Difratomia de raios-X da farinha de mandioca

A análise por difratometria de raios-X da farinha de bagaço de mandioca (FBM) foi realizada em equipamento Rigaku, modelo Ultima IV, utilizando radiação Cu-K_α (λ= 1,542 Å), operando com tensão de 40 kV e corrente de 20 mA, a 20 °C. O padrão de difração foi obtido na faixa 2θ de 5° a 60°, com uma taxa de varredura de 3°/min. O índice de cristalinidade foi determinado conforme a Equação 1 (Segal *et al.*, 1959):

$$IC = \left(1 - \frac{I_{am}}{I_{200}}\right) \times 100 \quad (1)$$

onde: **IC** é o índice de cristalinidade expreso em (%); I_{am} é a intensidade de difração que representa o material amorfo e I_{200} é a intensidade máxima do pico de difração principal que representa o material cristalino e o amorfo.

2.4 Processamento dos compósitos PP/FBM e PP/FBM/PPgAM

Antes da preparação dos compósitos, amostras de polipropileno e FBM foram secas

na estufa com circulação de ar em 60 °C durante um período de 12 horas para remoção da umidade. Após secagem, os materiais foram misturados manualmente em concentrações pré-determinadas, antes de serem processados em extrusora monorosca da AX Plásticos, AX3032 com razão comprimento/diâmetro (L/D) = 32. O antioxidante (1 % m/m), Irganox 1010, foi adicionado as amostras.. Perfil de temperatura isotérmico de 60 °C foi adotado para as 5 zonas de aquecimento da extrusora. A velocidade de rotação do parafuso foi de 70 rpm.

Com o objetivo de garantir maior homogeneização dos materiais obtidos, cada amostra foi reprocessada em extrusora dupla rosca co-rotacional Leistritz, ZSE 18 Maxx. As condições de extrusão adotadas foram: perfil de temperatura isotérmico de 180 °C nas 10 zonas de aquecimento, velocidade de rotação de 300 rpm e taxa de dosagem de 2 kg/h. Em seguida, as amostras foram resfriadas em tanque de água a temperatura ambiente, peletizadas e levadas para secagem em estufa com circulação de ar, sendo mantidas a 60 °C durante 48 h. Posteriormente, os compósitos obtidos foram armazenados em recipientes devidamente identificados. A Tabela 1 apresenta as diferentes composições dos materiais processados

Amostra	Composição (%)		
	PP	FBM	PP-g-MA
PP puro	100	0	0
85/15 PP/FBM	85	15	0
70/30 PP/FBM	70	30	0
83/15/2 P/FBM/PP-g-AM	83	15	2
68/30/2 PP/FBM/PP-g-AM	68	30	2

Tabela 1 - Composição dos materiais processados.

2.5 Obtenção de corpos de prova para os ensaios mecânicos

Para investigar o comportamento mecânico dos materiais processados, corpos de prova foram confeccionados através de moldagem por injeção, em injetora AX Plásticos, AX II, operada em perfil de temperatura de 210/205/200 °C, velocidade de preenchimento de 90 %, velocidade de recuo da rosca de 30 % e tempo de resfriamento de 30 segundos.

2.6 Avaliação das propriedades mecânicas em tração

Ensaio de resistência à tração das diferentes amostras foram realizados em Máquina Universal de Ensaio Shimadzu, AG-X Plus, equipada com garras para tração com distância de 50 mm, célula de carga de 5 kN. A velocidade adotada de afastamento das garras foi de 45 mm/min. Os ensaios foram realizados de acordo com o previsto na norma ASTM D638 (ASTM, 2014), com corpos de prova do tipo V.

2.7 Avaliação das propriedades mecânicas em flexão

Ensaio de resistência à flexão das diferentes amostras foram realizados em Máquina Universal de Ensaio Shimadzu, AG-X Plus, equipada com célula de carga de 100 kN. A velocidade de afastamento das garras foi mantida em 10,08 mm/min. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM D790 (ASTM, 2017).

2.8 Avaliação da resistência ao impacto Izod

Ensaio de resistência ao impacto dos materiais foram realizados em máquina do tipo pêndulo Instron, Ceast 9050. Corpos de prova, 10 por cada amostra, foram entalhados em V no entalhador Instron e acondicionados em temperatura de 21 °C por 48 horas, antes do início do ensaio. Os testes de impacto do tipo Izod foram executados utilizando um martelo com energia máxima de 0,5 Joule. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM D256 (ASTM, 2018).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise granulométrica da farinha de bagaço de mandioca

A distribuição do tamanho de partícula da farinha do bagaço de mandioca (FBM) é apresentada na Fig. 1.

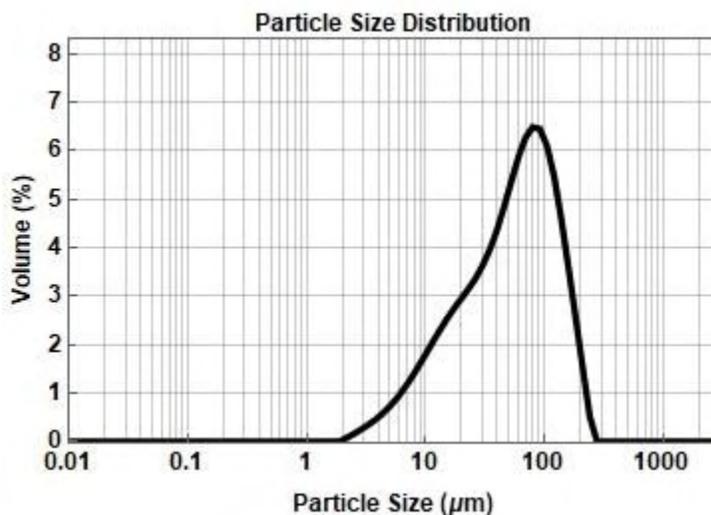


Figura 1 - Distribuição do tamanho de partícula da farinha de bagaço de mandioca obtido por análise granulométrica.

A Fig. 1 mostra que as partículas de FBM apresentam uma distribuição larga de tamanhos de partículas, que se estende desde 2 até 270 micrometros, com comportamento

unimodal com a moda (pico mais alto ao longo da distribuição granulométrica) em 80 micrometros. Os dados obtidos indicaram também que 10 % das partículas apresentam diâmetro menor que 6,54 μm , 50 % apresentam diâmetro inferior a 51,92 μm e 90 % apresentam diâmetro inferior a 131,52 μm .

3.2 Análise por Difratometria de raios-X e índice de cristalinidade

A Fig. 2 mostra o difratograma obtido para a farinha do bagaço de mandioca (FBM). Segundo Moraes (2013), picos próximos de $2\theta = 15^\circ$; $22,5^\circ$ e $34,5^\circ$ são característicos de materiais lignocelulósicos como a celulose. Os amidos provenientes de raízes e legumes apresentam uma estrutura cristalina com picos localizados aproximadamente em $2\theta = 5,6^\circ$, $15,3^\circ$, $17,3^\circ$, $18,2^\circ$ e $23,5^\circ$, denominada estrutura de amido tipo C (Lima *et al.*, 2012).

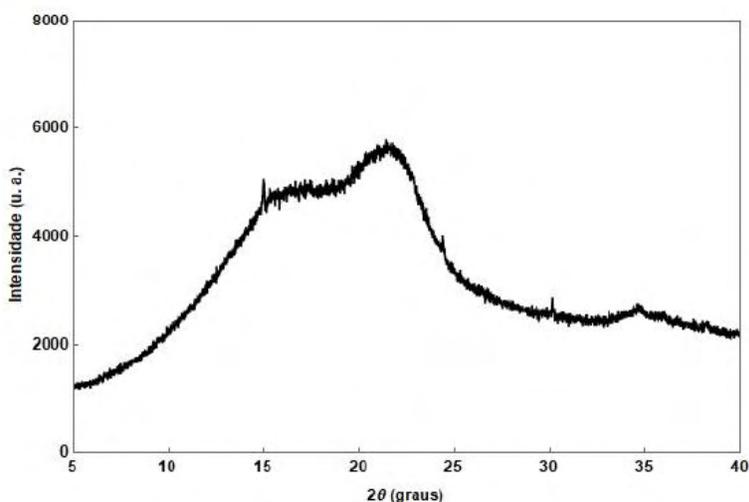


Figura 2 – Difratograma de raios X para a fibra de bagaço de mandioca.

No difratograma são observados picos de difração em $2\theta = 15,65^\circ$, $21,55^\circ$ e $34,7^\circ$ que evidenciam somente a presença de material lignocelulósico. A presença de picos de difração correspondentes ao amido residual contido no bagaço era esperada, uma vez que segundo Saito e Cabello (2006), cada tonelada de raiz beneficiada produz 930 kg de bagaço com aproximadamente 89 % de umidade e contendo em média 55,8 a 78,1 kg de amido residual. Essa massa representa um teor entre 65 e 76 % em peso do bagaço seco.

Farias *et al* (2014) atribuíram esse comportamento as severas condições de secagem industrial que o bagaço experimenta. O amido gelatiniza em temperaturas entre 60-70 $^\circ\text{C}$. O aquecimento em um meio com alto teor de água produz ruptura das ligações de hidrogênio, enfraquecendo a estrutura granular do amido. Esse efeito causa uma perda de cristalinidade e justifica o difratograma obtido.

O índice de cristalinidade (*IC*) da farinha do bagaço de mandioca, foi calculado

conforme a Equação 1 (Segal *et al.*, 1959), e foi de 15,8 %. Este valor está de acordo com o descrito na literatura (15 a 45 %) para esse tipo de material (Farias *et al.*, 2014).

3.3 Propriedades mecânicas em tração do PP e das misturas PP/FBM e PPFB/PP-g-AM

As propriedades do PP e das misturas PP/FBM e PPFB/PP-g-AM foram investigadas através dos ensaios mecânicos em tração. O módulo de Young (E), a tensão de escoamento (σ_{esc}) e a resistência à tração (σ_t) dos materiais foram determinados, a partir das curvas de tensão-deformação obtidas. Os valores obtidos para essas propriedades com seus respectivos desvios padrão são apresentados na Tabela 2.

Analisando os dados na Tabela 2, é possível verificar que a incorporação de FBM não promove um melhor desempenho mecânico do polipropileno. O módulo apresenta uma tendência a aumentar com o incremento do teor de FBM. A tensão de escoamento, assim como a resistência à tração diminuem com o aumento do teor de FBM. Este comportamento pode ser atribuído a fraca adesão interfacial entre amido e polipropileno (Farias *et al.*, 2014).

Composição(%)			E	σ_{esc}	σ_t
PP	FBM	PP-g-AM	(MPa)	(MPa)	(MPa)
100	0	0	823 ± 29	29,0 ± 0,9	35,7 ± 0,3
85	15	0	919 ± 78	27,6 ± 0,3	30,2 ± 1,0
70	30	0	927 ± 44	26,2 ± 0,9	27,4 ± 0,9
83	15	2	985 ± 30	32,1 ± 0,4	34,3 ± 0,5
68	30	2	998 ± 45	30,1 ± 1,7	30,7 ± 1,9

E: módulo de Elasticidade; σ_{esc} : tensão no escoamento; σ_t : tensão máxima.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas em tração do PP e dos compósitos PP/FBM e PP/FBM/PP-g-AM.

Os dados da Tabela 2, mostram também que a inserção do agente compatibilizante afeta benéficamente as propriedades mecânicas dos compósitos. Os valores do módulo elástico de todas as composições contendo PP-g-MA, mostram de forma geral, uma tendência de aumento do módulo de elasticidade com o aumento do teor de FBM em comparação com as composições sem o compatibilizante. Essa resposta era esperada, visto que o PP-g-MA promoveu uma melhor dispersão da carga.

Os valores tensão de escoamento das composições contendo PP-g-MA, apresentam melhores resultados dos apresentado pelas composições sem compatibilizante. Isto mostra que a adesão interfacial entre a carga e a matriz exerce um papel fundamental na determinação da tensão de escoamento do material.

A resistência a tração mostra tendência a diminuir à medida que aumenta o teor de

FBM. Essa tendencia pode estar relacionado com o processo de nucleação e propagação da trinca, ocasionado devido a mistura incompleta (distribuição e dispersividade) dos constituintes dos compósitos de PP/FBM (Farias *et al.*, 2014).

Resultados similares foram relatados Obasi e Igwe (2014) ao avaliar os efeitos do teor de amido e do uso do PP-g-MA como compatibilizante nas propriedades de tração dos compósitos de polipropileno carregado com amido de mandioca.

3.4 Propriedades mecânicas em flexão do polipropileno e das misturas PP/FBMB e PP/FBM/PP-g-AM

A Tabela 3 apresenta os valores do módulo e da resistência a flexão das diferentes composições preparadas.

Composição(%)			E_{flex} (MPa)	σ_{flex} (MPa)
PP	FBM	PP-g-MA		
100	0	0	842 ± 36	43,9 ± 1,3
85	15	0	1063 ± 84	47,2 ± 0,6
70	30	0	1357 ± 67	48,0 ± 1,8
83	15	2	1322 ± 32	53,2 ± 0,8
68	30	2	1536 ± 44	51,2 ± 0,9

Tabela 3: Módulo de flexão do polipropileno e dos compósitos PP/FBM e PP/FBM/PP-g-AM.

Os resultados obtidos mostram que os valores do módulo de flexão dos compósitos sofreram, de modo geral, um aumento substancial em elevados teores de FBM. A composição contendo 30 % de FBM, apresenta um módulo de flexão de 1357 MPa, ou seja, um aumento de 61 % em relação ao módulo de flexão do polipropileno.

A utilização do agente compatibilizante (PP-g-MA) promove um aumento do módulo de flexão como esperado. A composição com 30 % de FBM e com 2 % PP-g-AM apresenta um valor de 1536 MPa, o que representa um aumento maior que 13 % em relação à composição sem compatibilizante e de mais de 82 % em relação ao PP.

A redução da mobilidade polimérica pela adição da carga orgânica que apresenta maior módulo, a redução de microvazios promovida pela carga em flexão e o aumento da molhabilidade de carga pela matriz promovida pela redução de aglomerados são os fatores que possivelmente contribuíram para o aumento do módulo de flexão.

Com relação à resistência à flexão, as composições contendo o agente compatibilizante apresentaram resultados melhores da resistência à flexão. O PP-g-MA promove uma melhor adesão interfacial, e com isso, promove a obtenção de propriedades mecânicas superiores. A composição de polipropileno contendo 15 % de FBM e 2 % de PP-g-AM apresentou o melhor valor de resistência à flexão.

3.5 Resistência ao impacto do PP e dos compósitos PP/FBM e PP/FBM/PP-g-AM

A resistência ao impacto do PP e dos materiais obtidos é apresentada na Tabela 4.

Composição (%)			Resistência ao Impacto (J/m)
PP	FBM	PP-g-MA	
100	0	0	56,0 ± 5,3
85	15	0	47,4 ± 3,7
70	30	0	42,6 ± 1,9
83	15	2	39,2 ± 3,0
68	30	2	30,1 ± 3,5

Tabela 4 - Resistência ao impacto do PP e dos compósitos PP/FBM e PP/FBM/PP-g-AM.

Os resultados apresentados mostram que os valores de resistência ao impacto das misturas PP/FBM sofrem uma diminuição considerável à medida que o teor de FBM aumenta. Essa diminuição na resistência ao impacto da mistura PP/FBM pode ser atribuída a alta concentração de defeitos da fibra (Balaji *et al.*, 2014). A realização de uma avaliação morfológica dos compósitos processados é necessária de maneira a explicar melhor os resultados obtidos. Com relação as misturas contendo PP-g-AM, é possível notar que o decréscimo dos valores da resistência ao impacto ocorre de forma mais pronunciada. Essa situação era esperada, visto que o emprego do compatibilizante tornou o compósito mais rígido (aumento do seu módulo elástico), fragilizando o compósito quando submetido ao impacto.

4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, as propriedades mecânicas do polipropileno (PP) foram modificadas pela adição da farinha do bagaço de mandioca (FBM). Os resultados obtidos mostram que a incorporação do compatibilizante é necessária para a obtenção de propriedades mecânicas satisfatórias em tração e em flexão. A resistência ao impacto do PP, entretanto, diminui consideravelmente com o aumento do teor de FBM incorporado ao compósito, e não melhora com a adição do compatibilizante. Do ponto de vista técnico, adotando como critérios de desempenho as propriedades mecânicas em tração e flexão, a amostra de polipropileno formulada com 15% de bagaço de mandioca e 2% de compatibilizante é a que promove os resultados mais satisfatórios.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao devido apoio da CAPES, CNPq e FAPERJ e do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Materiais (PPGCTM) do Instituto Politécnico do Rio de Janeiro (IPRJ-UERJ).

REFERÊNCIAS

Agustina, W.; Aditiawati, P.; Kusumah, S.S.; Dungani, R. (2019), Physical and mechanical properties of composite boards from the mixture of palm sugar fiber and cassava bagasse using mycelium of *Ganoderma lucidum* as a biological adhesive. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 374, 012012.

Azwa, Z.N.; Yousif, B.F.; Manalo, A.C.; Karunasena, W. (2013), A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. *Materials & Design*, 47, 424–442.

ASTM. (2014), ASTM D638-14, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014. Disponível em: www.astm.org. Acesso em: 12 dez 2018.

ASTM. (2017), ASTM D790-17, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. Disponível em: www.astm.org. Acesso em: 12 dez 2018.

ASTM. (2018), ASTM D256-10, Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018. Disponível em: www.astm.org. Acesso em: 12 dez 2018.

Barros, R.N.; Santos, M.S.M.; Batistote, M. (2019), Avaliação do bagaço de mandioca como uma fonte promissora para a produção bioetanol. XVIII(69).

Balaji, A.; Karthikeyan, B.; Raj, C.S. (2014), Bagasse fiber – the future biocomposite material: a review. *International Journal of ChemTech Research*, 7(1), 223–233.

Carvalho, G.R. de (2018), *“Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de blendas poliméricas empregando-se resíduos da indústria de amido de mandioca”*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Paraná, Curitiba.

Constantino, M.A.; Rosales, K.; Pettarin, V. (2019), Polypropylene blends and composite: processing-morphology-performance relationship of injected pieces. In: Polypropylene - polymerization and characterization of mechanical and thermal properties, Weiyu Wang and Yiming Zeng, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.85634. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/66705>.

Dittenber, D.B.; Ganga Rao, H.V.S. (2012), Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure. *Composites. Part A: Applied Scienc and Manufacturing*, 43(8), 1419–1429.

Edhirej, A.; Sapuan, S.M.; Jawaid, M.; Zahari, N.I. (2017), Preparation and characterization of cassava bagasse reinforced thermoplastic cassava starch. *Fibers Polymers* 18, 162-171.

Farias, F.O.; Jasko, A.C.; Colman, T.A.D.; Pinheiro, L.A.; Schnitzler, E.; Barana, A.C. *et al.* (2014), Characterisation of cassava bagasse and composites prepared by blending with low-density polyethylene. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57(6), 821-830.

- Fiorda, F.A.; Soares Jr., M.S.; da Silva, F.A.; Souto, L.R.F.; Grossmann, M.V.E. (2013), Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. Pesquisa Agropecuária Tropical, 43(4), 408-416.
- Kotic, H.G. (2019), Natural fibers and composite materials reinforced with natural fibers: the motivation for their research and development; Revista Matéria (Rio J) 24 (3), 20. e-12477
- Mohammed, L.; Ansari, M.N.M.; Pua, G.; Jawaid, M.; Islam, M.S. (2015). A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications. International Journal of Polymer Science, 2015 Article ID 2439471 <https://doi.org/10.1155/2015/243947>
- Lima, B.N.B.; Cabral, T.B.; Neto, R.P.C.; Tavares, M.I.B.; Pierucci, A.P.T. (2012), Estudo do amido de farinhas comerciais comestíveis. Polímeros 22 (5), 486-490.
- Leite, A.L.M.P.; Zanon, C.D.; Menegalli, F.C. (2017) Isolation and characterization of cellulose nanofibers from cassava root bagasse and peelings. Carbohydrate Polymers, 157, 962-970
- Mithra, M.G.; Sajeev, S.; Padmaja, G. (2019), Fed-Batch Saccharification as a Strategy towards Reducing Enzyme Dosage and Enhancing Fermentable Sugar Yield from Pretreated Lignocellulose-Starch Biomass. Waste and Biomass Valorization, 10, 3279-3293, <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0373-z>.
- Mihalic, M.; Sobczak, L.; Pretschuh, C.; Unterweger, C. (2019), Increasing the impact toughness of cellulose fiber reinforced polypropylene composites—Influence of different impact modifiers and production scales. J. Compos. Sci. 2019, 3, 82; doi:10.3390/jcs3030082.
- Moufarreg, I.M.M. de O.; Siqueira, J.C.; Rodrigues, K.F.; Vas, R.G.M.V.; Moron, S.E.; Parente, I.P.; et al. (2021), Bagaço de mandioca na alimentação de frangos de crescimento lento. Brazilian Journal of Development, v.7, n.4, 39078-39099.
- Moraes, P.R.F.D.S. (2013). “*Estudo comparativo da membrana e do hidrogel de celulose bacteriana com colágeno em dorso de ratos*”, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação Interunidades Bioengenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Nair, M.P.; Padmaja, G.; Sajeev, M.S.; Sheriff, T.J. (2012). Bioconversion of Cellulose-Starch Waste from Cassava Starch Industries for Ethanol Production: Pretreatment Techniques and Improved Enzyme Systems. Industrial Biotechnology. 8. 300-308. 10.1089/ind.2012.0007.
- Obasi, H. C.; Igwe, I. O. Effects of Native Cassava Starch and Compatibilizer on Biodegradable and Tensile Properties of Polypropylene. American Journal of Engineering Research, v. 3, p. 96-104, 2014.
- Peixoto, T. Da S.; Rech, S. (2019), Resíduos de mandioca: um estudo sobre a destinação da massa de mandioca pelas fecularias brasileiras. Anais do II Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação, Navirai, 2(1), 1-18.
- Pinheiro, M.A.; Gomes L.G.; da Silva, A.C.R.; Candido, V.S.; Reis, R.H.M.; Monteiro, S.N. (2019), Guaruman: a natural amazonian fiber with potential for polymer composite reinforcement. Material Research, 22, e20190092.
- Risnasari, I.; Herawati, R.; Sirait, R.N. (2019), Characterization of polypropylene composite reinforced with wood flour or cellulose fiber. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 166 (2018) 012002, doi :10.1088/1755-1315/166/1/012002

- Ronko, L.Z.; Travalini, A.P.; Demiate, I.M. (2020), Amido e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* C.): obtenção e caracterização de diferentes variedades. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 14(1), 2962-2982.
- Saito, I.M.; Cabello, C. (2006), Produção de etanol a partir de hidrolisado obtido por tratamento hidrotérmico de farelo de mandioca. *Revista Energia na Agricultura*, 21(3), 34–44.
- Schoeler, M.N.; Scremin, F.R.; de Mendonça, N.F.; Benetti, V.P.; de Jesus, J.A.; Basso, R.L. de O.; et al. (2020), Cellulose nanofibers from cassava agro-industrial waste as reinforcement in PVA films. *Química Nova*, 43(6), 711-717.
- Travalini, A.P. (2019), "*Filmes de amido de mandioca reforçados com nanopartículas de celulose visando aplicação em embalagens alimentícias "eco-friendly"*", Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.
- Versino, F.; García, M.A. (2018) Materiales eco-compatibles reforzados a base de almidón de mandioca para aplicaciones agronómicas. *Matéria*, 23(4), artículo e-12211.
- Versino, F.; Urriza, M.; García, M.A. (2020), Cassava-based biocomposites as fertilizer controlled-release systems for plant growth improvement. *Industrial Crops & Products*, 144, 112062.
- Wang, S.; Lin, Y.; Zhang, X.; Lu, C. () , Towards mechanically robust cellulose fiber-reinforced polypropylene composites with strong interfacial interaction through dual modification. *RSC Advances*, 63(5), 50660-50667.
- Wicaksono, R.; Syamsu, K.; Yuliasih, I.; Nasir, M. (2013), Cellulose nanofibers from cassava bagasse: Characterization and application on tapioca-film. *Chemistry and Materials Research*, 3(13).
- Zenatti, D.C.; Costa, A.A.; Hermes, E.; Vilvert, R.M.; Dias, L.C. (2015) Quantificação de açúcares redutores em hidrolisado do bagaço da mandioca para uso na produção de metano. *Gestão e Sustentabilidade Ambiental*, 4(n.especial), 616-627.

GENERATION OF WIND ENERGY WITH KITES: A REVIEW OF THE AIRBORNE WIND ENERGY TECHNOLOGY

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 13/08/2021

Laura Barros Cordeiro Peçanha

Dept. of Electrical Engineering, Instituto Federal
Fluminense
Campos dos Goytacazes – RJ
<http://lattes.cnpq.br/3676904945846007>

Natalia de Souza Barbosa Oliveira

Dept. of Electrical Engineering, Instituto Federal
Fluminense
Campos dos Goytacazes – RJ
<http://lattes.cnpq.br/5085927822810487>

Wagner Vianna Bretas

Dept. of Electrical Engineering, Instituto Federal
Fluminense
Campos dos Goytacazes – RJ
<http://lattes.cnpq.br/0842599717842402>

ABSTRACT: Use of clean and sustainable energy has gained distinction in the scientific community, given that the debate on sustainable development has been an agenda of utmost importance in a global level. Aiming to expand the existing technologies, the Airborne Wind Energy (AWE) system, which is based on capturing winds in altitudes and changing them into electric energy, was created. A review of the state of the art was made in this paper, including concepts and functioning methods, followed by two case studies of systems in operation, finishing with a proposal for the development plan of a didactic prototype based on the studies herein presented.

KEYWORDS: Alternative Energy Sources, AWE, Environmentally Sound Technologies, Sustainability.

GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA COM PIPAS: UMA REVISÃO DA AIRBORNE WIND ENERGY TECHNOLOGY

RESUMO: O uso de energia limpa e sustentável tem ganhado destaque na comunidade científica, uma vez que o debate sobre o desenvolvimento sustentável tem sido uma pauta de suma importância no âmbito mundial. Com o intuito de ampliar as tecnologias vigentes, foi desenvolvido o sistema Airborne Wind Energy - AWE, que é baseado em captar ventos em altitudes e transformá-los em energia elétrica. Neste artigo é realizada uma revisão do estado da arte, incluindo conceitos e método de funcionamento, seguido do estudo de dois casos de sistemas em operação, finalizando com a proposta do plano de desenvolvimento de um protótipo didático baseado nos estudos realizados.

PALAVRAS-CHAVE: Energias Alternativas, AWE, Tecnologias Ambientalmente Amigáveis, Sustentabilidade.

1 | INTRODUCTION

Given the relevance of electricity, the increasing demand for energy and the search for a more sustainable world, mankind started to show a rising need to develop energy sources that cause minimum harm to the environment (KUMAR; MISHRA; CHATTERJEE, 2017; REHMAN et al., 2019; TOLEDO et al., 2016).

Nevertheless, according to IEA data collection, the world energetic matrix is still tied to finite resources which are harmful to the environment (YANG; PARK; LEE, 2019). In order to change the way of producing energy, and seeking for production means that allow this resource to be greener and more accessible, mainly after UN (United Nations) recommendations which defined the Environmentally Sound Technologies, there has been a global effort to enable Alternative Energy Sources, especially biofuels, solar and eolic energy. Concerning eolic energy, wind generation architectures started to be analyzed and spread due to the oil and gas crisis in the 1970s (FAGIANO; MARKS, 2015).

Since then, the traditional way of generating electric energy through wind uses wind turbines. However, in spite of all efficiency advance, reliability and cost reduction, the high power-to-weight ratio is still a significant issue, given that the higher the generator strength, the bigger are its dimensions, which implies additional production, operation and maintenance costs related to these turbines (CANALE; FAGIANO; MILANESE, 2007; FAGIANO; MILANESE; PIGA, 2011; TAIROV; AGNOLETTO, 2018).

Searching for new technologies capable to mitigate the previously mentioned issues concerning eolic turbines size and use of finite resources that harm the environment in the global energy matrix, Airborne Wind Energy (AWE) technology was identified as a possible answer for such matters. Therefore, this paper proposes a study concerning such matters. Therefore, this paper proposes a study concerning such technology and the design of an AWE generator didactic prototype.

2 | STATE OF THE ART

The so-called Airborne Wind Energy (AWE) technology consists of a system comprised by a kite, which captures wind from altitude, and a generator that transforms mechanical energy into electrical, and it can be either ground-based or suspended with the kite.

Studies regarding AWE systems have gained immense relevance within the academia. One of the reasons is the fact that conventional eolic turbines can only reach low-altitude winds. These winds, in turn, are weaker and less stable in proportion to the high-altitude ones (ARCHERA; MONACHE; RIFEC, 2014; DIEHL, 2013; FAGIANO; MILANESE; PIGA, 2011; FECHNER; SCHMEHL, 2012; MALZ et al., 2020).

Therefore, AWE systems prove to be an advantageous alternative, since they are able to reach higher altitudes and, consequently, higher speed winds – as altitude increases, the air masses speed intensity increases proportionally – and considering that these systems capacity of producing energy is proportional to the cube of the wind speed, AWE systems produce a more significant energy potential (LOYD, 1980; TUYTS et al., 2015; YANG; PARK; LEE, 2019).

The most relevant academic research papers focusing on AWE systems will be

addressed hereinafter, in order to explain the process of producing electric power through kites, strictly the Ground-Generator AWE system, seeking to understand how this recent innovative technology works.

A. Ground-Generator AWE system performance

AWE systems are comprised by two fundamental elements: the onshore system and the aircraft. Both must be mechanically connected through tethers (ANTONELLO et al., 2015; ARCHERA; MONACHE; RIFEC, 2014) , as shown in Figure 1:

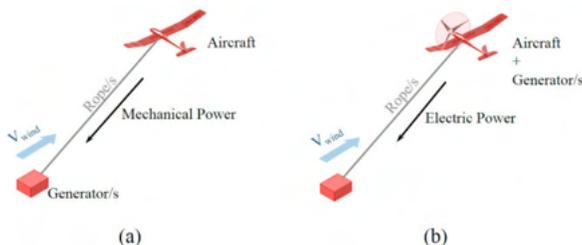


Figure 1. Examples of AWE systems (a) employing groundbased electric generator, and (b) employing on board electric generator.

(ANTONELLO et al., 2015).

The ground-based model system presented herein follows the model of Figure 1.b, consisting of an electric generator present at the station. In this model, energy conversion takes place on the ground. Due to this characteristic, it is referred to by some authors as Ground-Generator AWE system (ANTONELLO et al., 2015).

The aircraft, on the other hand, is recognized as a kite. This kite, presented in Figure 2, is responsible for delivering mechanical energy to the generator, which will be converted into electric energy afterwards.



Figure 2. Kite of Ground-Generator AWE systems.

(TAIROV; AGNOLETTA, 2018).

The performance of Ground-Generator AWE system is based on the access of energetic potential through conversion of tensile forces that the kite produces over a ground-based generator (FAGIANO; MILANESE; PIGA, 2011; FECHNER; SCHMEHL, 2012; LOYD, 1980; MALZ et al., 2020; RAPP et al., 2019; YANG; PARK; LEE, 2019; ZGRAGGEN; FAGIANO; MORARI, 2015).

Energy conversion is obtained through two phases. The first one is generation, which produces energy. The second one is recovery, and unlike what happens in generation, energy is consumed. Thus, for the system to be efficient, the generation phase must surpass recovery (ANTONELLO et al., 2015; CANALE; FAGIANO; MILANESE, 2007; FAGIANO; MARKS, 2015).

In line with (TAIROV; AGNOLETTO, 2018), the generation phase is referred to as “reelout” (the kite movement is ascending), and the recovery phase is known as “reel-in” (the rope is lowered). While the kite is flying upwardly (reel-out), it tensions the rope, which is curled in winches. The winches, in turn, are connected to the generators axes (or shafts).

The tensioned rope will induce rotation of the electric generators during its uncoiling. When the rope is lowered (reel-in), the generators will rewind them and the kite will go back to its initial position (ANTONELLO et al., 2015; FAGIANO; MARKS, 2015).

More significant amounts of energy are obtained if the kite is not static, but if it flies perpendicularly to wind direction, that is to say, in the cross wind direction (TAIROV; AGNOLETTO, 2018).

The first movement is known as takeoff, in which the wing is positioned in the wind direction and the ropes are aligned with the air flow, creating a high attack angle, therefore increasing rope tension significantly. In this course of action, the wing must be controlled in order to fly rapidly and some direction adjustments must be done to ensure the wing flies in an upright trajectory. Thereafter, the kite movement in the air is actually obtained, also known as cross wind. Finally, there is the landing maneuver, a moment in which the line strength is too low and the kite is pulled back to its original position (FAGIANO; MARKS, 2015; DIEHL, 2013).

According to researches, it is possible to state that the “eight-shaped” one, because it favors better use of cross winds, trajectory in which the kite presents best efficiency levels is the which maximize electrical energy production, producing higher tensile forces, thus hindering the rope to go through torsion and to get coiled (TAIROV; AGNOLETTO, 2018).

In a nutshell, as the kite gets uncoiled from the generator and undergoes an ascending path, it is manipulated to perform “eight-shaped” maneuvers of cross flight, therefore providing higher tensile forces to the generator, which in turn will have higher electrical energy conversion rates. This process is called “reel-out”. However, when the maximum length is reached, the “reel-in” phase starts. In this phase the generator works as an engine and the kite starts to be pulled back to the ground using a minor amount of energy produced by the kite itself. Both processes are displayed in Figure 3 (DIEHL, 2013;

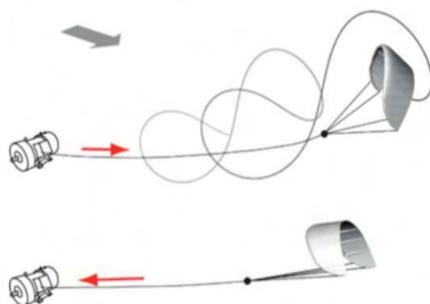


Figure 3. Reel out phase (top image) and reel in phase (lower image).

(FECHNER; SCHMEHL, 2012).

According to what has been previously stated, in order to amplify the generation power, the kites must develop an eightshaped path, which guarantees that the flight is always upright in relation to wind direction. To ensure the “eight-shaped” trajectory, control devices and methods must be used. Control plays a significant role concerning efficiency, meaning it acts as a collaborator for AWE Systems yielding (ZGRAGGEN; FAGIANO; MORARI, 2015).

Flight trajectories can be controlled through on board actuators, through control pods, by regulating the power cables, or by using diluent control cables (ANTONELLO et al., 2015).

Ground and aboard sensors that provide information such as azimuth angles, ground Global Positioning System (GPS) location, wind speed and direction, load values for each line, battery tension values, and engine currents are used to ensure better control. Some of these sensors can be attached to the main wing support (FAGIANO; MARKS, 2015; LUNNEY et al., 2016).

Besides the previously mentioned measures, the system needs a mechanism to perceive any parameters that may be inadequate or misfit, such as a failure detection mechanism. These tools will guarantee more reliability to the system (FAGIANO; MARKS, 2015).

3 | CASE STUDIES

Besides the state-of-the-art analysis, which encompasses the performance of electrical energy production through kites, the objective of this research was also to develop a study on the feasibility of building a prototype aimed at spreading knowledge on this subject, as well as to fill in the gap which is the difficulty to expand the technical and

economic viability of the system (FAGIANO; MARKS, 2015).

Thus, by establishing the elaboration of the prototype as the key part of this work, we sought to analyze research that brought models of AWE System generators, especially concerning their respective technical aspects.

For this purpose, two articles published on the IEEE platform were used: “Design of a small-scale prototype for research in Airborne Wind Energy” by Lorenzo Fagiano and Trevor Marks and “Design of a distributed kite power control system” by Uwe Fechner and Roland Schmehl. Both studies approach from the structural elements and the system design to the electrical/electronic part that includes actuators, sensors and power systems.

A. Design of a small-scale prototype for research in Airborne Wind Energy

For this purpose, two articles published on the IEEE platform were used: “Design of a small-scale prototype for research in Airborne Wind Energy” by Lorenzo Fagiano and Trevor Marks and “Design of a distributed kite power control system” by Uwe Fechner and Roland Schmehl. Both studies approach from the structural elements and the system design to the electrical/electronic part that includes actuators, sensors and power systems.

Lorenzo Fagiano and Trevor Marks’s article (2015) addresses the development of a low-cost AWE system, so that it allows simulations of this new model to be carried out, without necessarily focusing on the power generation capacity, but rather on the evaluation of sensors to actuators, design and materials. Overall, AWE systems aim to produce wind energy using a wing or an aircraft, connected to the ground by moorings, subjected to winds up to 1000 meters high, using different mechanisms. In the article mentioned in this section, AWE Systems work with generators at ground level (FAGIANO; MARKS, 2015).

The system modeled by (FAGIANO; MARKS, 2015) is composed by three lines, the external lines being named “direction lines” precisely because they give the kite a sense of direction, due to the fact that they have different sizes (the line on the right is longer than the left line). Due to this difference in size, when the air flow touches the kite, it performs a rotating movement that is perceived in the center of the line, as it can be seen in Figure 4.

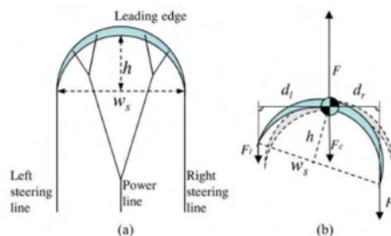


Figure 4. Air flow action in the kite. a) Front view diagram of a three-line curved flexible wing, showing the wingspan w_s and the height of the wing h ; b) Wing rotated during direction, and forces acting on the lines. F is the sum of all forces acting on the wing in the direction of the lines.

(FAGIANO; MARKS, 2015).

The center line (“power line”), in turn, is determined as the point of union of the two direction lines that come together forming a central line, which besides influencing the angle of inclination of the wing is also responsible to support the force exerted by the direction lines and to pass this twist on to the generator (FAGIANO; MARKS, 2015).

Regarding energy generation, it is the responsibility of the generator, which is located on the ground and often in a vehicle - such as a truck – to enable the transportation of this kitegenerator set to different regions, thus increasing the system mobility (FAGIANO; MARKS, 2015; DIEHL, 2013).

The generation process described by (FAGIANO; MARKS, 2015) applies previously discussed concepts, however with other meanings. The Power stage is herein equivalent to the reel-out phase and the Depower is equivalent to the reel-in phase.

To increase the project’s efficiency, one of the most relevant mechanisms of this system corresponds to the automatic control of operation. It supervises and stores data through the sensors, in order to monitor input values and manipulate output values to reach the required set point (FAGIANO; MARKS, 2015).

This control mechanism has two main applications. The first is to maintain the wing in the air, ensuring a stable flight path. The second objective is to maximize the power generation cycle, maximizing the average produced power at the Power stage (reel-out) (FAGIANO; MARKS, 2015).

In addition to the concern with the design of the system in relation to the wing and lines, attention should be paid to other issues, such as fixing sensors, Linear Motion Systems - LMSs, anemometers, GPS, alarms and electric engines in the structure, as well as aligning the design for easy transportability and resistance of materials to corrosion (FAGIANO; MARKS, 2015).

Among these elements, it is worth noting the relevance of the LMSs in the prototype, since the direction lines give rise to the rotational movement in the wing. For such purpose, LMSs are used, which transform the rotation of electric engines into linear displacement, thus changing the length of the direction lines. In order to do so, screw mechanisms and a series of pulleys are used to redirect the lines (FAGIANO; MARKS, 2015).

That said, it is noticeable that an essential requirement for the dimensioning of the lines is the ability to withstand a sufficiently large change of linear position and be able to reduce the loads that must be supported by the electric engines (FAGIANO; MARKS, 2015).

With regard to the electric engines, it is essential to use two: one to activate the steering control and the second to activate the Power/Depower command, that is, the wing pitch (FAGIANO; MARKS, 2015).

In both cases, it is advisable to use brushed electric DC engines or non-brushed engines with incremental quadrature and position feedback encoders. The dimensioning of these engines must consider ventilation, heat dissipation, as well as shielded signal cables and real-time hardware to minimize the position feedback noise (FAGIANO; MARKS, 2015).

Regarding the power supply system, use of lead-acid batteries is recommended, as they are robust and have a fast operating time in relation to peak currents. This becomes essential since these prototypes must be prepared for the field adversities they may encounter, and they must also be able to supply the necessary energy to the engines at peak times, given that the system is subjected to high peak loads similar to those of a sinusoid (FAGIANO; MARKS, 2015).

To guarantee existence of some human control in the process, it is necessary to use a machine-human interface that needs to provide the operator with the ability to control the flight, the Power and Depower energy of the control system and also to control the LMSs position. In other words, two commands are required: one to control the position of the LMSs for the deviation of direction and the other for the Power/Depower setup of the center line (FAGIANO; MARKS, 2015).

Events such as excessive wind speed, low battery voltage or sensor failure must also be communicated to the human operator via bells or lights which shall be activated by the hardware in real time (FAGIANO; MARKS, 2015).

Regarding the line length, it must be chosen to match the space available at the established test site and it must comply with local airspace regulations. In addition, the line length must match the size of the kite and the wind conditions, in order to prevent the kite from sagging in the air (FAGIANO; MARKS, 2015).

B. Design of a distributed kite power control system

Despite the many advantages concerning energy production using kites, this generation model still comes up against technical resources such as the low availability of sophisticated control systems. Seeking to mitigate these difficulties, the University of Draft Technology has developed a power generator that operates an inflatable membrane - wing - tied in a generation cycle, in which the flight path is controlled by an actuator unit, suspended below the pipeline, and it communicates with the ground station control center via a wireless link (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

In this research, particularly, scientists focused on the analysis of a distributed control system aiming at greater operational efficiency and flexibility. In practical terms, when having a flexible architecture, the kites of a wind farm should communicate with each other, thus avoiding collisions and optimizing the total production of the park (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

In the prototype developed in this work, an aerial actuator (control pod) unit was chosen, which is hung under the wing (FECHNER; SCHMEHL, 2012) as shown in Figure 5:



Figure 5. Control pod hung under the wing.

(FECHNER; SCHMEHL, 2012).

According to Figure 5, the control pod is connected to the winches that control the steering lines, which are attached to the rear ends of the kite. In order to change the direction, one line is pulled while the other is released (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

To change the angle of attack, the same movement is carried out on both lines, that is, they are pulled or released simultaneously (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

The control pod minimizes the mechanical delay between activating the mini winches and the dynamic response of the wing. However, the system still requires a reliable communication link between the information captured by the sensors attached to the kite and the station on the ground and a power supply on board, in addition to its extra weight that generates a negative impact on the power capacity (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

Dealing with these variables and expanding the project's viability became the crucial point of the research, which emphasized the production of knowledge for the development of a high-level kite generation control system.

Although it was originally designed for manual control between the ground station and the kite, each one having its operator coupled only mechanically, by the rope, the purpose of the project was automatic operation and for that matter it was essential to comply with hardware and software components that primarily aim at the integration of new control computers, sensors and actuators in a simple way. It is important to note that to achieve this goal, physical links between the control nodes can be used (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

Given that the system designed by (FECHNER; SCHMEHL, 2012) was distributed, it was crucial to enhance the model so that it could achieve high control levels. In order to do so, it was chosen to carry out a synchronization between the clocks of the network nodes in less than 1ms, providing the links with the required reliability. In other words, it can be said that the software design contemplates the transfer of software components through distributed data processing.

The general structure of the control system is divided into four basic elements: the user interface (UI), the state machine (FSM), the path planner and the winch controller

(FECHNER; SCHMEHL, 2012).

The user interface, as the name already highlights, is responsible for providing information about the current position and altitude of the kite through a global satellite navigation system attached to the main wing support, as well as the displacement speed of the rope through a wind speed sensor suspended on the brake system between the kite and the pod control; in addition, it displays the amount of generated energy and other relevant aspects (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

Connected to the user interface there is the state machine (Finite State Machine - FSM) that controls the operational mode of the system: start, landing, coiling and uncoiling, besides giving commands to the flight path planner and to the winch controller (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

The flight path planner is responsible, as its denomination demonstrates, for calculating the ideal flight path, according to the wind speed parameters, the system situation, the instantaneous current force and the generator power. Its main objective is to minimize the error between the real and planned trajectories of the kite's flight, through an internal loop that controls the kite header and an external loop that controls its position (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

The flight path planner is responsible, as its denomination demonstrates, for calculating the ideal flight path, according to the wind speed parameters, the system situation, the instantaneous current force and the generator power. Its main objective is to minimize the error between the real and planned trajectories of the kite's flight, through an internal loop that controls the kite header and an external loop that controls its position (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

The winch controller, in turn, manages the drum/generator module, or in other words, a linear displacement module installed on a sled and driven by an axle engine, which ensures uniform supply of the cable at the drum. In low-speed air masses, this mechanism optimizes the combination of speed and strength to achieve maximum tractive power. In high-speed winds, this mechanism maintains the average force in the largest possible module without exceeding the maximum value supported by the structure. While in the coiling phase, it ensures that the rope tension does not decrease to the minimum value required for flight control (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

In order to understand the working mechanisms of the control system, it is necessary to attach a grounding reference to the controller, which is then converted into a wind reference frame, where the kite's coordinates are projected in a unitary sphere around the frame's origin reference value of the wind that counts the position of the kite, which in turn is described by the azimuth angle and the elevation angle. Therefore, these angles can be used to guide the kite from its current position to the desired position, by sending a signal to the kite control pod (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

These distributed control systems have sensors and actuators at different points in

the structure that together form a critical control in a loop and which are usually connected by wireless systems. That way, it is possible to obtain a reliable control system, as Global Satellite Navigation System (GNSS) sensors can fail for different reasons. Therefore, to produce economically viable kite systems while minimizing the risk of failure, at least one additional position sensor is required, and this sensor must be able to measure elevation, as it is the case of angular sensors and also of display mechanisms that can carry out measurements exactly where the line is coming out of the winch, also known as azimuth angles (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

For research and development purposes, the distributed control system with its controller on the ground has the main advantage of making testing and development processes easier, since using a desktop computer is easier than using a computer incorporated to the kite (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

Since use of several computers for control and measurement purposes to communicate with each other is required, it is essential to use an Operating System, that is, a modular software structured with components that can be built independently and implemented in any part of the system to control the computers. Choice of the Operating System should include minimum latency during the loop, allowing the system to work as long as possible. For this purpose, Linux Operating System and “chrony” software were used due to their good performance for computers that do not have internet connection (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

The software must contain additional tools, such as KitePFD, which has the function of displaying the power of the kite’s main flight, exposing particularities such as the position vector and the kite speed in top view as well as in front view; PodControl, which is responsible for displaying the position of steering winches and power/depower; and a clock capable of synchronizing the measurements of all sensors and calculating the new actor setup parameters (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

In face of the use of different software systems, the communication between them can happen using a transport compatible with the different CPU architectures using a protocol player. For that purpose, multiple programming languages must be supported, such as Java, C or C ++. It was also possible to guarantee that it is more advantageous to use Standard Ethernet connections, since when compared to USB/serial adapters and serial numbers, wireless connections are considered more reliable and simpler (FECHNER; SCHMEHL, 2012).

Once having determined the project consents, the system can be successfully tested on more than 15 flights of approximately two hours each. It is important to highlight the convenience of keeping control during the flight, and to state that it is also possible to change the source code of any of the controllers, to recompile and run again.

Finally, the article (FECHNER; SCHMEHL, 2012) elucidates the reliability of the distributed control system, defining it as fast and capable of meeting all the requirements

of a modular kite control system, being able to act in the research area, since several programming languages can be applied and different components can be developed independently, based on a common communication protocol. The distributed control system is also feasible for commercial control applications, due to the ease of adding redundant communication links and control components.

4 | PROTOTYPE DEVELOPMENT PLAN

The work whose feasibility is assessed in this paper targets at the development of a simple, low-cost and small-sized prototype which aims not necessarily to generate electricity, but to spread knowledge about this technology to groups that transcend the academic community, thus stimulating the interest of students and uninitiated people concerning the development of sustainable energy sources.

The model chosen to be developed was the GroundGenerator AWE System, consisted by a kite, lines and a generator on land. Figure 6 presents the model and elements that will be used in this project:

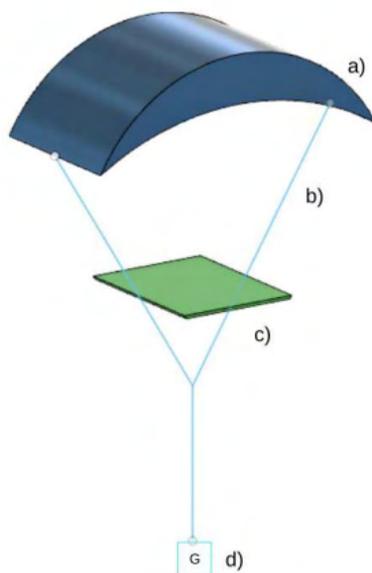


Figure 6. Schematic of the prototype using Fusion 360. a) Kite: responsible for the flight; b) Lines: responsible for interconnecting the kite with the drone and generator; c) Drone: Responsible for controlling the movement of the kite; d) Generator: Responsible for generating electricity.

A relevant factor is the material selection for the prototype construction, which needs to be light in order to favor the flight, in addition to being simple, low-cost and highly available on the market. Since it is a light material, displaying significant fluidity in the air, Styrofoam

was used to represent the kite, which in turn, was connected to lines made of high density polyethylene fibers, ideal because of its low weight, resistance and flexibility.

According to Figure 6, a drone is attached to the lines, and this drone will be produced by the responsible academic team during the research. This device allows for manual control of the kite, and it is able to describe the trajectory of an eight in the air, a movement that is characteristic of AWE System. To ensure flawless control of the movements it is necessary to mention that the lines are perfectly connected to the drone in such a way that when manipulating the propellers maneuvers of this device, it is also possible to manipulate the lines resulting in the reel-in and reel-out movements.

The generator which is responsible for converting mechanical energy of the central rope traction into electrical energy must be located on the ground. In the previously described prototype, this mechanism will be represented by a mini generator installed in a replicate of a vehicle (car or boat), therefore explaining the mobility of this system that can be transported to different regions.

Another factor worth mentioning is the attachment of audible and light alarms to the structure, demonstrating the concern about having mechanisms that signal system failures.

5 | CONCLUSION

The state-of-the-art approach to technical aspects in the development of wind farms having AWE Systems as their main mechanism provided the acquisition of essential knowledge concerning the elaboration of a prototype of this energy production model, in such a way that this sample is able to represent the technologies and consents that involve this system, which in turn is in the ascendancy in the academic sphere, such as the “Design of a small-scale prototype for research in Airborne Wind Energy” (FAGIANO; MARKS, 2015) and the “Design of a distributed kite power control system” (FECHNER; SCHMEHL, 2012) mentioned in this paper and that helped in the elaboration of a method that represented the AWE Systems in an equivalent way.

Therefore, it was possible to clarify throughout this work that the use of materials such as styrofoam to represent the kite and the drone aiming at the replacement of the control system such as the POD control guarantee a satisfactory similarity, thus providing the development of prototypes with high similarity in relation to the models that are under analysis and development worldwide.

REFERENCES

A. L. Cristina, M. Luca Delle; R. L. Daran, “**Airborne wind energy: Optimal locations and variability,**” *Renewable Energy*, v. 64, p.180-186, apr. 2014. Elsevier BV. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.10.044>

- C. Antonello, P. Andrea, V. Rocco, F. Marco, “**Airborne Wind Energy Systems: A review of the technologies,**” *Renewable And Sustainable Energy Reviews*. nov. 2015. Elsevier BV. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.053>
- C. Massimo, F. Lorenzo, M. Mario, “**Power Kites for Wind Energy Generation [Applications of Control],**” *Ieee Control Systems*, v. 27, n. 6, p. 25-38, dec. 2007. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Available: <http://dx.doi.org/10.1109/mcs.2007.909465>
- C. Massimo, F. Lorenzo, M. Mario, “**High Altitude Wind Energy Generation Using Controlled Power Kites,**” *Ieee Transactions On Control Systems Technology*, v. 18, n. 2, p. 279-293, mar. 2010. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Available: <http://dx.doi.org/10.1109/tcst.2009.2017933>
- D. Moritz, “**Airborne Wind Energy: Basic Concepts and Physical Foundations,**” *Airborne Wind Energy*, p.3-22, 2013. Springer Berlin Heidelberg. Available: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-39965-7_1
- E. C. Malz, F. Hedenus, L. Göransson, V. Verendel, S. gros, “**Drag-mode airborne wind energy vs. wind turbines: An analysis of power production, variability and geography,**” *Energy*, v. 193, feb. 2020. Elsevier BV. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2019.116765>
- E. Lunney, M. Ban, N. Duic, A. Foley, “**A state-of-the-art review and feasibility analysis of high altitude wind power in Northern Ireland,**” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2016). Available: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.014>
- F. Lorenzo, M. Mario, P. Dario, “**Optimization of airborne wind energy generators,**” *International Journal Of Robust And Nonlinear Control*, v. 22, n. 18, p. 2055-2083, 29 sep. 2011. Wiley. Available: <http://dx.doi.org/10.1002/rnc.1808>
- F. Lorenzo, M. Trevor, “**Design of a Small-Scale Prototype for Research in Airborne Wind Energy,**” *Ieee/ASME Transactions On Mechatronics*, v. 20, n. 1, p.166-177, feb. 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Available: <http://dx.doi.org/10.1109/tmech.2014.2322761>
- F. Uwe, S. Roland, “**Design of a distributed kite power control system. 2012 Ieee International Conference On Control Applications,**” 6f, oct. 2012. IEEE. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/cca.2012.6402695>
- K. Dipesh, M. Anirban, C. Kalyan, “**Power and frequency control of a wind energy power system using artificial bee colony algorithm,**” 2017 Third International Conference On Science Technology Engineering & Management (iconkstem), mar. 2017. IEEE. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/iconstem.2017.8261385>
- L. L. Miles, “**Crosswind kite power (for large-scale wind power production),**” *Journal Of Energy*, v. 4, n. 3, p. 106-111, may 1980. American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA). Available: <http://dx.doi.org/10.2514/3.48021>
- R. Ateekh Ur, A. Mustufa Haider, U. Usama; U. Yusuf Siraj, “**MultiCriteria Decision-Making Approach for Selecting Wind Energy Power Plant Locations,**” *Sustainability*, v. 11, n. 21, 2 nov. 2019. MDPI AG. Available: <http://dx.doi.org/10.3390/su11216112>
- R. Sebastian, S. Roland, O. Espen, S. Sture, H. Thomas, M. Johan, “**A Modular Control Architecture for Airborne Wind Energy Systems,**” *Aiaa Scitech 2019 Forum*, 6 jan. 2019. American Institute of Aeronautics and Astronautics. Available: <http://dx.doi.org/10.2514/6.2019-1419>

S. Jeroen, H. Greg, V. Wouter, D. Johan, D. Moritz, “**Effect of the Electrical Energy Conversion on Optimal Cycles for Pumping Airborne Wind Energy,**” *Ieee Transactions On Sustainable Energy*, v. 6, n. 1, p.2- 10, jan. 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Available: <http://dx.doi.org/10.1109/tste.2014.2349071>

T. Stanislav, A. Daniel, “**Geração de energia por pipas,**” *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 2, 6f., 1 feb. 2018. *FapUNIFESP (SciELO)*. Available: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2017-0263>

T. Sergio, R. Marco, G. Raul, R. Jorge, C. Leonardo, “**Predictive current control with reactive power minimization in six-phase wind energy generator using multi-modular direct matrix converter,**” 2016 *Ieee Andescon*, p. 213-233, oct. 2016. IEEE. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/andescon.2016.7836229>

Y. Hoseong, P. Hyeonsoo, L. Youngho, “**The design of combined energy generation using airborne and ocean current kites in offshore,**” 2019 *Offshore Energy And Storage Summit (oses)*, jul. 2019. IEEE. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/oses.2019.8867204>

Z. U. Aldo, F. Lorenzo, M. Manfred, “**Real-Time Optimization and Adaptation of the Crosswind Flight of Tethered Wings for Airborne Wind Energy,**” *Ieee Transactions On Control Systems Technology*, v. 23, n. 2, p.434-448, mar. 2015. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Available: <http://dx.doi.org/10.1109/tcst.2014.2332537>

INTERVENÇÃO PSICOSSOCIAL COM A TÉCNICA DE GRUPO OPERATIVO NO ENSINO SUPERIOR NA FACULDADE DE FILOSOFIA CIÊNCIAS, E LETRAS DE CANDEIAS – BAHIA - INTEGRAR PARA RESIGNIFICAR

Data de aceite: 01/11/2021

Adilton Dias de Santana

Professor da FAC do curso de Pedagogia, especialista em psicologia social e mestre em educação pela UNEB/Ba

Jessica Alves de Amorim Silva

Especialista em gestão e educação especial, professora visitante da FAC, nos cursos de extensão e fóruns de pesquisas

Nadjane Crisóstomos

Professora da FAC, psicopedagoga, mestre em educação e políticas públicas UCSAL/Salvador

RESUMO: Este artigo apresenta como objeto a intervenção psicossocial no ensino superior nos cursos de graduação da Faculdade de Filosofia, Ciências, e Letras de Candeias-Bahia (FAC-BA) denominamos a intervenção de “integrar para resignificar” foi utilizado a metodologia da técnica de grupo operativo, postulado por Henrique Pichon Rivière, médico, psicanalista Argentino que revolucionou a forma de atuação em grupos com o foco em saúde mental e educação transformadora, os resultados avaliativos ao final da intervenção psicossocial em alunos de graduação foram surpreendentes, pois os obstáculos internos e as matrizes de aprendizagens foram revisados e transformados.

PALAVRAS-CHAVE: Educação Superior, Psicologia social. Intervenção.

RESUMEN: Este artículo presenta como objeto la intervención psicossocial en la enseñanza

superior en los cursos de graduación de la Facultad de Filosofía, Ciencias, y Letras de Candeias-Bahía (FAC-BA) denominamos la intervención de “integrar para resignificar” fue utilizado la metodología de la técnica de grupo que se ha convertido en una de las principales causas de la crisis económica mundial, que se ha convertido en una de las principales causas de la crisis económica mundial. las matrices de aprendizajes fueron revisadas y transformadas.

PALABRAS CLAVE: Educación Superior, Psicología social. intervención.

1 | INTRODUÇÃO

Este artigo visa compartilhar experiências com metodologias ativas no ensino superior, tendo como base intervenção psicossocial fundamentada na teoria da psicologia social Pichoniana, desenvolvida pelo Dr. Enrique Pichon –Rivière. Ele caracteriza o grupo como “um conjunto restrito de pessoas que ligadas por constantes de tempo e espaço e articuladas por sua múltipla representação interna, se propõe de forma explícita e implícita, uma tarefa que constitui sua finalidade, interagindo através de complexos mecanismos de assunção e deposição de papéis.

Dessa forma, Pichon-Rivière elaborou a concepção vincular do sujeito a partir de sua prática clínica, na qual revela-se a ele o mundo interno do paciente, configurando-se como um grupo interno, no qual o sujeito reconstrói a trama vincular na qual está imerso. Portanto,

refere-se a um dispositivo técnico, a um conjunto de procedimentos no contexto grupal.

Com essa proposta da teoria a equipe de intervenção se interessou em desenvolver essa ação aos alunos universitários do curso de Pedagogia da Faculdade Regional de Ciências e Letras de Candeias – FAC, para trabalhar aspectos da Psicologia Social no que tange a construção dos futuros profissionais da área de humanas (pedagogia, administração e enfermagem), já que a teoria Pichoniana está atrelado com o despertar do protagonismo, em que futuramente estes alunos estarão trabalhando e contribuindo diretamente na construção da subjetividade, na formação da identidade de indivíduos, no gerenciamento de negócios e pessoas como também no cuidar do outro.

Inicialmente a demanda deu-se através da solicitação do coordenador do curso de pedagogia da FAC, professor Sr. Genivaldo Santos, que apontou como demanda os alunos e as problemáticas existentes a sua volta. Em entrevista com o referido coordenador foi colocadas situações problemas com a Instituição, oriundas do relacionamento dos integrantes em sala de aula, que conseqüentemente impacta na qualidade dos formandos. Na oportunidade foi-se colocado um entrave com relação a integração da equipe que supostamente, para o coordenador, estava em torno de uma aluna que era diagnosticada com bipolaridade e que esta apresentava condutas típicas de seu diagnóstico, interferindo na relação dos colegas de classe e conseqüentemente na dinâmica ensino aprendizagem dela e da equipe.

O coordenador Genivaldo Santos ressalta ainda que existem muitas dificuldades no campo profissional dos discentes e em tudo que envolve todo o bom funcionamento da instituição, tal como a falta de cumprimento dos horários dos professores, ética profissional em vários âmbitos, equipe técnica e uma logística adequada. Porém, mais uma vez foi afirmado pelo coordenador que a demanda urgente para intervenção são os alunos.

Diante do exposto a intervenção foi elaborada através das dificuldades apresentadas pelo representante da Instituição na pessoa do coordenador Genivaldo, desta forma foi direcionada possibilidades de ressignificação do vínculo do grupo, fortalecendo a tarefa de aprendizagem, bem como buscando integrar os respectivos alunos/colegas: com a instituição, com a sua futura profissão e, principalmente, dando condições para que o grupo possa sustentar de maneira acolhedora os seus integrantes/alunos, tendo um cuidado maior com uma aluna diagnosticada com Bipolaridade.

Tendo como ponto de partida a Psicologia Social de fundamentação Pichoniana a Intervenção Psicossocial com os alunos da FAC abordamos os seguintes conceitos: Matrizes de Aprendizagem Vínculos e Papeis, estes articulados com a teorias freudiana, também com a abordagem feita por Paulo Freire no que tange a pedagogia.

2 | CONTEXTO INSTITUCIONAL

O CIEG - Centro Interdisciplinar de Estudos Grupais Enrique Pichon-Rivière é uma

organização não governamental, sem fins lucrativos, criada em Salvador/BA em 1990, como projeto institucional de um grupo de profissionais de diversas áreas (Psicologia Social, Sociologia, Comunicação, Serviço Social, Administração, Pedagogia, História) mobilizados pelo interesse em aprofundar a compreensão das práticas grupais.

Tem como campo de estudo e ação os processos de interação dos grupos, utilizando-se da Técnica de Grupo Operativo como instrumento de intervenção para potencializar e criar condições para a tarefa grupal. Neste sentido, para criar condições, o coordenador estará sempre atento à relação entre os integrantes e a relação que estes estabelecem com a tarefa.

Além disso, desenvolve ações no sentido de dar suporte técnico, teórico e prático na área da Psicologia Social com a Técnica de Grupos Operativos, a profissionais liberais e grupos comunitários e institucionais - públicos, privados e do terceiro setor.

A filosofia do CIEG tem como base o Aprender a Aprender, ou seja, “aprender a pensar todas as formas possíveis de resolução dos conflitos”: na medida em que um grupo visualiza suas dificuldades e tem um instrumento que lhe possibilita resolvê-las, os seus objetivos e tarefas se tornam eficazes. Para nós aprendizagem, adaptação ativa à realidade, transformação e criatividade são práticas da promoção da saúde.

Desde sua fundação, tem como uma das suas tarefas institucionais a Formação em Psicologia Social de fundamentação pichoniana, capacitando Coordenadores de Grupos Operativos na utilização da Técnica de Grupos Operativos; habilitando-os a desenvolver atividades em instituições ligadas à educação, à recreação, à religião, à criatividade, à família, às organizações de trabalho, às necessidades comunitárias, à autoajuda e outras formas de inter-relações sociais.

Desde julho de 2012 assina um Convênio com Faculdade Bahiana de Medicina e Saúde Pública através do qual chancela essa Formação, tornando-a Curso de Pós-graduação em Psicologia Social de fundamentação Pichoniana.

O coordenador que realizou a intervenção foi formado pelo CIEG que vem há mais de 25 anos formando profissionais nesta técnica, na qualidade de especialista em psicologia social institucional e comunitária, assim, decidimos realizar este experimento num curso de graduação em pedagogia e administração da faculdade supracitada.

2.1 A Faculdade de Candeias Bahia

A faculdade Regional de Filosofia, Ciências e Letras de Candeias - FAC está localizada na rodovia BA 522, Km 8 s/n - Fazenda Caroba Candeias – BA Categoria Administrativa: Privada - Particular em Sentido estrito, Portaria MEC sob nº do Documento: 1.176, foi fundada em fevereiro de 2001, assim concebida a 14 anos.

A sua fundação se deu através da necessidade identificada por uma professora por nome Conceição Sobral, residente na cidade do Salvador-Ba no ano de 2000 foi desenvolver uma projeto da UNEB na cidade de Candeias-BA, meio a comentários da

deficiência do ensino e da necessidade da falta de profissionais graduados no município, ela iniciou uma pesquisa intensiva para a coleta de dados mais precisos, a qual descobriu que pouquíssimos habitantes de Candeias eram apropriadas do nível superior, inclusive os professores que atuavam nas escolas da rede municipal, estadual e particular, concluindo que existiam menos de 50 professores graduados em todo o município, segundo entrevista.

A partir daí a pedagoga Conceição Sobral idealizou a Faculdade de Candeias - FAC para suprir as necessidades da população. Em seu estatuto desenha uma organização com fins lucrativos, manutenção oriunda da catalisação das mensalidades dos alunos legalmente matriculados e regulamente frequentes e de cursos de extensão que são oferecidos para os alunos periodicamente.

Segundo relato de Genivaldo Santos, Professor e Coordenador do curso de pedagogia, na FAC, a missão principal da instituição é elevar a quantidade de pessoas da região ao nível superior, especialmente em pedagogia e administração. A Instituição vem se empenhando para fornecer, também, o curso de enfermagem, pelo qual está em andamento esperando ser validado pelo MEC. Desta forma, a Faculdade disponibiliza o ensino e conseqüentemente o desenvolvimento da Região através de 532 pessoas que estão interessadas em seu desenvolvimento pessoal e profissional.

Buscando o constante aprimoramento e qualificação dos seus alunos é realizado o investimento em projetos paralelos tal como a “Empresa Junior” que foi implantada e executada pelos estudantes de administração, onde foram articuladas parcerias com empresas locais para que possam trabalhar articulando a teoria e a prática, onde todos da equipe possam atuar na área.

Em relação a pedagogia também são realizados programas e projetos que levam os estudantes a integrarem o conhecimento à prática; o projeto é intitulado como Dia das responsabilidades sociais, em que os estudantes conduzem momentos de recreação educativa e contação de história.

Ao final de cada semestre é realizado um Fórum formado por grupos dos respectivos cursos para obtenção da nota de 50% da unidade, alcançando também a melhor aplicabilidade dos conhecimentos adquiridos em sala de aula, os resultados das avaliações são disponibilizados pelos professores da Instituição.

3 | PSICOLOGIA SOCIAL DE FUNDAMENTAÇÃO PICHONIANA

A Psicologia Social busca conceber a historicidade do sujeito vertical como indivíduo articulando com a horizontalidade do campo grupal (Estrutura familiar, campo escolar, sociedade, amigos, trabalho, diversas relações), tal como descreve Pichon:

“ A Psicologia Social é a ciência das interações voltadas para uma mudança social planejada.” (Pichon-Rivière, Enrique: O processo grupal. Módulo Curso Aprofundando a Psicologia Social, pág.5.)

Ainda sobre a Psicologia Social de fundamentação Pichoniana, podemos afirmar através da publicação de Enrique Pichon Rivière em *O Processo Grupal*:

A Psicologia Social ao qual nos referimos, inscreve-se em uma crítica da vida cotidiana. Nossa consciência destas relações perde sua trivialidade na medida em que o instrumento teórico e sua metodologia nos permitem investigar a gênese dos fatos sociais. (...) A Psicologia Social que postulamos tem como objeto de estudo o desenvolvimento e transformação de uma relação dialética, que se dá entre estrutura social e configuração do mundo interno do sujeito, relação esta que é abordada através da noção de vínculo.

A relação do pensar, sentir e fazer em consonância como o mundo real, faz o sujeito refletir fazendo uma crítica da vida cotidiana, visando a superação dos obstáculos internos e externos, promovendo o protagonismo social e a busca por soluções através de ações transformadoras e articulação com configurações de novos grupos de trabalho.

O processo grupal vai se configurando numa trama dialética, através da construção de vínculos por afinidades e interesses, assim a vinculação promove os encontros e a significação da existência social, pois estes processos promovem os encontros e desencontros que devem ser superados com a aprendizagem em grupo, ou seja, aprendizagem em comunhão como afirmou Paulo Freire na pedagogia do oprimido.

3.1 Psicologia Social e abordagem pedagógica de Paulo Freire

Em 1992, quando Paulo Freire publicou *Pedagogia da esperança*, um reencontro com a pedagogia do oprimido (1992:115), Paulo Freire retoma certas críticas já postas em 1968:

Não é todo corpo consciente ou toda consciência que é esse “espaço” vazio à espera de conteúdos para as lideranças vanguardistas autoritárias. (...) se sentem como se fossem pessoas já libertadas ou pessoas inalcançáveis pela dominação cuja tarefa é ensinar e libertar os outros. Daí o seu cuidado quase religioso, seu empenho quase místico, mas também duro, no trato dos conteúdos, sua certeza em torno do que deve ser ensinado, transmitido.

Portanto, para que haja uma mudança é necessário que haja uma consciência e para que a consciência aconteça a reflexão é uma alternativa pertinente. Os sujeitos não são vazios a espera de conteúdos e sentidos, cada ser em si é uma obra prima com todas as capacidades de se desenvolver na comunidade e em grupos, pois o grupo cultural a que pertencem podem ser o ponto inicial para uma crítica da vida cotidiana, e o limiar de sua própria transformação social, a educação libertadora é aquela que permite aos sujeitos revisar suas matrizes internas de aprendizagem para superá-los, resignificar-los e transforma-los e transformando seu interior poderá transformar o exterior que o cerca,

De acordo com Paulo Freire (2011, p. 24)

A reflexão crítica sobre a prática se torna uma exigência da relação Teoria/prática sem a qual a teoria pode ir virando blá-blá-blá e a prática, ativismo. É discutir alguns saberes fundamentais á pratica educativo-critico ou progressista e que, por isso mesmo, devem ser conteúdos obrigatória á

organização programática da formação docente.

Desta forma, o docente tem que se renovar para que o estereótipo e o congelamento não seja empecilho para o progresso das novas gerações. Tratar o aluno com respeito, exercer e avaliação o seu progresso, nesse sentido, o professor que atua apenas como um mero transmissor de conteúdos e obrigações desconsiderando o papel fundamental de formador de sujeitos autônomos, causando um efeito negativo na formação das crianças.

Baseado nessa temática observa-se também, o que o teórico abaixo citado afirma sobre os fatores que interferem e contribuem de alguma forma determinando a identidade do sujeito a partir do que o adulto ensina ou o trata.

Segundo Freire:

Dicotomia inexistente homens-mundo. Homens simplesmente no mundo e não com o mundo e com os outros. Homens espectadores e não recriadores do mundo. Concebe a sua consciência como algo especializado neles e não aos homens como “corpos conscientes”. A consciência como se fosse alguma seção “dentro” dos homens, mecanicistamente compartimentada, passivamente aberta ao mundo que irá “enchendo” de realidade. (Freire, *Pedagogia do Oprimido*, 71;77).

Portanto, é necessário que o professor leve para a sala de aula práticas pedagógicas ativas para despertar o sujeito no mundo a fazer novas descobertas com autonomia e protagonismo, assim, a técnica de grupo operativo permite este salto, da mesma forma os círculos de cultura pensados pelo Freire, promovem espaços de interação intersubjetiva e operativa que promovem o despertar para novas realidades sociais e existenciais.

4 | INTERVENÇÃO NO CAMPO GRUPAL - METODOLOGIA

De acordo com Ana P. Quiroga (1996) a intervenção psicológica ajuda os integrantes do grupo a centrar-se na tarefa e a promover mudanças no âmbito grupal e no individual. “O grupo é então o instrumento de cura. Seus integrantes são protagonistas do processo terapêutico, são eles que os que vão distribuir e elaborar as ansiedades, que deixam de concentrar-se no porta-voz.” (P. de Quiroga, Ana – *Enfoques y Perspectivas em Psicologia Social*, Ediciones Cinco, Buenos Aires, 1996). Desta forma sustenta-se que o grupo se torna operativo e protagonista, principalmente, através do fortalecimento dos vínculos e das necessidades grupais.

Inicialmente, tomamos como metodologia os conteúdos teóricos para apresentação da teoria Pichoniana, demonstrando a importância desta abordagem para a formação dos futuros profissionais de pedagogia, administração e enfermagem. Partindo desta necessidade foram utilizadas técnicas e jogos de ação para reconhecimento do espaço e de si mesmo, buscando integrar corpo e mente.

A intervenção foi realizada com base teórica da Psicologia Social Pichoniana e com a técnica de Grupo Operativo.

“Definimos o grupo como conjunto restrito de pessoas, ligadas entre si por constantes de espaço, e articuladas por sua mútua representação interna, que se propõe, de forma explícita ou implícita uma tarefa que constitui sua finalidade.” (Enrique Pichon Rivière em O Processo Grupal).

A técnica de Grupo operativo permite a sustentação que é extraída do diálogo em grupo e das possíveis leituras deste campo grupal, pois a técnica operativa é centrada na tarefa, seja ela explícita e/ou implícita. Vale salientar que a proposta do grupo operativo é sustentador os integrantes do grupo, como consequência promover a saúde mental, o fortalecimento dos vínculos, além de possuir função terapêutica mesmo este não sendo terapia.

Desta forma, buscou-se criar condições para que os alunos se percebessem como autores de sua própria história e responsáveis pela sua própria história, reconhecendo suas condições reais de existência e buscando criticar a vida cotidiana, assim, conduzindo o grupo para a integração do seu pensar, sentir e fazer e principalmente do fortalecimento do grupo de alunos da Instituição de ensino que foi realizada a Intervenção Psicossocial e Institucional.

5 | DESCRIÇÃO DA SITUAÇÃO GRUPAL COM SEUS OBSTÁCULOS

A intervenção foi realizada com um grupo composto por universitários, grupo este que apresentou heterogeneidade no que tange o gênero e seguimento de curso, pois ali estava presentes alunos dos cursos de Pedagogia, Administração e Enfermagem.

A constituição do grupo como alunos da Instituição existia há seis meses, contudo um dos emergentes compreendidos no primeiro momento foi a integração fragmentada dos integrantes, conseqüentemente estava também fragmentado a identificação e pertença daquele grupo, gerando assim dificuldade na comunicação entre as partes. Essa hipótese foi levantada em vários momentos grupais, tal como no primeiro dia em que foi realizada a dinâmica de apresentação pela história do nome, onde na reunião grupal o Integrante “N” falou: “ Eu não sabia o nome de todos os colegas, quanto mais a sua história. ”

O grupo apresentou as suas dificuldades no seu processo de aprendizagem configurando-se em duas dimensões: Uma do vínculo dos integrantes do grupo e a outra da própria Instituição.

No âmbito grupal foram trazidas as questões da integração fragilizada entre os membros do grupo, bem como, vínculos enfraquecidos e distanciamento grupal. Podendo ser configurado como uns obstáculos grupais onde se tinham modelos estereotipados de queixa, medos, modelos de aprendizagem rígidos, pânico e muita resistência ao novo, e também passividade aos desconfortos por não saber reivindicar os direitos como alunos e seres humanos. Este emergente pode ser extraído através das seguintes falas:

No âmbito Institucional foi colocado em pauta a falta de atenção e respeito para com

os alunos, a falta de zelo e pelo o espaço físico, no qual se encontrava cadeiras quebradas, e muito calor devido a falta de climatização. Também foi ressaltado a dificuldade em executar bem a tarefa por falta de laboratório de informática para pesquisas e um sistema mais sofisticado no site da faculdade onde eles pudessem imprimir os boletos bancários correspondente as mensalidades mensais diretamente no ambiente virtual dos alunos em vez de solicitar todos os meses na secretaria da universidade.

No levantamento das necessidades e das dificuldades individuais para leitura do grupal, pode-se perceber a falta de protagonismo do grupo no que se refere a atuar de maneira coletiva as necessidades grupais, que resultaria em uma instituição de ensino mais estruturada em comparação as demais Instituições de ensino superior.

Na segunda reunião grupal, em que foram trabalhadas as necessidades individuais e as dificuldades de aprendizagem, emergiram através das falas dos integrantes um processo de vitimização, de culpa e de falta de integração do grupo. Os integrantes do grupo em questão possuem condições reais de existência similares que facilitou a tarefa da identificação/confirmação da demanda para realização da intervenção grupal, vale salientar que, até então, o grupo não conseguia visualizar os pontos positivos, os ganhos adquiridos através da Instituição e a mudança de vida que muitos estavam se permitindo.

- Integrante “N” – “Necessidade: Ar-condicionado, que promete, mas não acontece, melhor estrutura, melhoria no laboratório... Dificuldade: Morar longe, dificuldade com ônibus... transtorno...”
- Integrante “O” – “Necessidade: Estrutura física da faculdade. Dificuldade: Interagir com a turma... adequação...”
- Integrante “O” – “Necessidade: Estrutura... Dificuldade: Comunicação... O grupo poderia ser mais unido. Os nossos trabalhos são separados.
- Integrante “N” – “Somos muito separados.”
- Observação: Todos falando ao mesmo tempo.

As falas acima têm como latente queixas sobre meio de transporte público que leva e trás esses alunos, sendo a maioria dos veículos financiados pela prefeitura local. Os veículos têm horário para chegar, porém, a saída é incerta provocando muitas ansiedades nos alunos devido a apreensão de serem esquecidos e deixados na instituição impossibilitando a concentração nos estudos. Os mesmos concordam que a coordenação da instituição deveria conversar com os motoristas dos ônibus para estabelecer horário de saída para a tranquilidade do grupo, e assim terem um rendimento maior no processo de aprendizagem.

Desta maneira puderam-se criar possibilidades de intervenção neste grupo buscando a perspectiva de protagonismo, da atuação para mudança, do integrar Pensar/Sentir/Fazer, da constituição dos modelos de aprendizagem/matrizes (Organização e significado do mundo interno) e as experiências de aprendizagem do mundo externo.

6 | BREVES CONCLUSÕES

Finalizada a análise interpretativa da intervenção, incluindo como ponto de análise especificamente as reuniões grupais, podemos concluir este trabalho como uma intervenção operativa dentro do pressuposto pichoniano, seguindo os conceitos teóricos trabalhados em sua técnica de grupo operativo.

O trabalho de intervenção incluiu em sua formação todo o aparato técnico necessário para a realização de sua prática que envolveu a sensibilização, dinâmicas de grupo vinculadas as temáticas abordadas para promover a reflexão e a superação de obstáculos que estavam interferindo na realização da tarefa, que centrava-se na impossibilidade de transformação do grupo.

Durante a intervenção foi possível perceber os processos de aprendizagem pelos quais o grupo passou. As aulas teóricas foram fundamentais para que as conexões com as atividades corporais e as experiências do grupo fossem colocadas em jogo e o grupo pudesse aprender com esta prática e de fato isso aconteceu, como podemos perceber na análise interpretativa deste trabalho.

Desta forma, uma análise macro do mesmo que tem a intervenção como objeto de estudo apresenta que a técnica de grupo operativo é possibilitadora de transformação no que tange a superação de obstáculos referentes à comunicação a aprendizagem neste grupo.

O mesmo conseguiu refletir os aspectos que impediam o seu processo de aprendizagem, e perceber que caminhos tomar para superar os mesmos. É notório como a técnica e as temáticas envolvidas neste trabalho promoveram que esse processo ocorresse no grupo. Superar o medo da perda e o medo ao ataque, desvincular-se do que é mais cômodo e mais fácil, em busca de algo novo e transformador e perceber que apesar de passar por algumas dificuldades é possível se conectar com o prazer de desenvolver algo nunca feito.

Além disso a reflexão se percebeu a si mesmo dentro dos seus modelos de aprendizagem e como esses se refletem nas ações do “aqui e agora”, notar que uma mudança grupal depende de mudanças internas de cada integrante foi percebido e acolhido por este grupo, promovendo um processo de transformação especial neste grupo.

A pesquisa-formação foi essencial como escolha metodológica para este trabalho, pois permitiu que pudéssemos estar imersos na produção do mesmo, poder fazer uma análise crítica, e aprender enquanto estava em processo de produção acadêmica, bem como realizar a análise interpretativa de uma intervenção também realizada pelos próprios criadores desta pesquisa.

Enquanto seres sociais, vinculados a uma trama de vínculos imersos em um contexto dialético, a transformação pode ocorrer também enquanto equipe de trabalho, que estava aplicando uma técnica, co-coordenando um grupo e também aprendendo neste processo.

O trabalho enfim, promoveu um aprendizado do grupo – objeto de análise deste trabalho, como também do grupo produtor deste trabalho. Em relação a queixa do coordenador o professor Genivaldo Santos a suposta aluna não houve problemas algum, pois as atividades integrativas promoveram a construção de vínculos positivos na turma e consequentemente o acolhimento da colega, fato este que foi relatado por todos ao final da intervenção.

Integrar para ressignificar, foi a intervenção possível no momento proposto, pois avaliamos a necessidade de continuidade dos encontros com a atuação de coordenadores de grupo operativos para se trabalhar outras demandas surgidas ao longo deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BELLER, D. **Insight**. In: Módulo Curso Formação de Coordenadores de grupos Operativos, parte II – Coordenação. Traduzido por Elenice Mello. Uso exclusivo do CIEG. Salvador, 2014. p 114 A 120.

FREIRE, Paulo, Pedagogia da autonomia: Saberes necessários a pratica pedagógica, São Paulo, Paz e Terra, 2011.

LUIZ GONZAGA GONÇALVES. A noção de corpo (s) consciente (s) na obra de Paulo Freire

MANIGOT, M. **Vetores do Cone**. In: Módulo Curso Formação de Coordenadores de grupos Operativos, parte II – Coordenação. Elaboração: Maura Espinheira Avena. Revisão Graciela Chatelain. Uso exclusivo do CIEG. Salvador, 2014. p.25.

NICOLIELO, Bruna. Conheça experiências brasileiras inspiradas em Reggio Emilia. Disponível em: www.revistaescola.abril.com.br/creche-pre-escola/conheca-experiencias-brasileiras-inspiradas-reggio-emilia. Acesso em 01 de dezembr de 2015 às 14:00 horas.

ORSO, J.P.; **A educação na sociedade de classes: possibilidades e limites**. In: Educação e lutas de classes. 1 ed. São Paulo: Expressão popular, 2008. p. 49-63.

PIGNATARI, Décio. Informação, Linguagem, Comunicação. 7ª ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 1976.

PINTO, Álvaro Vieira. **Conceito de educação**. In: Sete lições sobre Educação de Adultos. São Paulo: Cortez, 1986. p.29-40

QUIROGA, A.P. **O Sujeito no Processo de Conhecimento**. In: Módulo Curso Aprofundando Psicologia Social. Texto extraído do livro “Enfoques e Perspectivas em Psicologia Social”, Ed. Cinco, Buenos Aires, Argentina, 1986. Traduzido por Graciela Chantelain. Uso exclusivo do CIEG. Salvador, 2010, p 49 a 54.

QUIROGA, A.P. **Vínculo**. In: Módulo Curso Aprofundando Psicologia Social. Aula da 1ª Escola de Psicologia Social em 27/07/1975. Tradução Hosane Fernandes, revisão: Maura Espinheira e Graciela Chantelqain. Uso exclusivo do CIEG. Salvador, 2010.p 78 a 81

RIVIERE, H.P. Técnica de los grupos operativos, em el proceso grupal. Ed. Nueva Visión, Bs. As. 1978

RIVIERE, H.P. **Conceito de ECRO**. In: Módulo Curso Aprofundando Psicologia Social. Aula dada em 1970/ 1ª Escola de Psicologia Social. Tradução Maura Espinheira em junho 1995, p.1ª4.

RIVIERE, H.P. **O Prólogo**. In: Módulo Curso Aprofundando Psicologia Social. Texto extraído do livro “Processos Grupais”. Traduzido por Graciela Chantelain. Uso exclusivo do CIEG. Salvador, 2010.p 78 a 81

RIVIERE, H.P.. **Algumas Reflexões sobre Grupo Operativo**. Texto extraído da publicação Temas de Psicologia Social, agosto de 1995. Número 14. Buenos Aires, Argentina. In: Módulo Curso Formação de Coordenadores de Grupos Operativos, parte II – Coordenação. Tradução: Georgina Enriquez Tachy, 2001. Uso exclusivo do CIEG. Salvador, 2014, p.34 a 40.

RIVIERE, H.P.. **História da Técnica de Grupos Operativos**. In: Módulo Curso Formação de Coordenadores de grupos Operativos, parte II – Coordenação. Tradução: Maura Leite espinheira Avena. Uso exclusivo do CIEG. Salvador, 2014, p.34 a 40.

RIVIERE, H.P.. **O Conceito de Grupo e os Princípios Organizadores da Estrutura Grupal no Pensamento de Enrique**. Texto extraído do livro “Enfoques e Perspectivas em Psicologia Social”. Ed. Cinco, Buenos Aires, Argentina, 1986. In: Módulo Curso Formação de Coordenadores de grupos Operativos, parte II – Coordenação. Tradução: Graciela Chantelain. Uso exclusivo do CIEG. Salvador, 2014, p.17 a 24.

www.cppnac.org.br/wp-content/uploads/2012/.../Corpo-Consciente.pdf. Acesso em 25 de março de 2016 às 17:00 horas.

CAPÍTULO 10

MONITORIA DE GEOLOGIA GERAL PARA O CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS: UM RELATO DE EXPERIÊNCIA

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 13/08/2021

Cibele Tunussi

Universidade Federal de Catalão, Faculdade de Engenharia
Catalão, Goiás
<http://lattes.cnpq.br/4234905719348708>

Marcos Henrique Pacheco

Universidade Federal de Catalão, Faculdade de Engenharia
Catalão, Goiás

RESUMO: Este trabalho visa apresentar um relato de experiência das atividades desenvolvidas na monitoria acadêmica, realizada no segundo semestre de 2018 para duas turmas da disciplina de Geologia Geral do curso de Engenharia de Minas, da Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão. O intuito do projeto de monitoria é transmitir o conhecimento do monitor de forma a amparar os estudantes egressos na disciplina, fazendo com que o aprendizado seja mútuo entre o monitor e os alunos que procuram esta oportunidade, além de auxiliar o professor em suas atividades. Os atendimentos aos alunos foram realizados no prédio da biblioteca da Regional Catalão e no Laboratório de Mineralogia que se localiza no 2º piso do Bloco O, em horários pré-estabelecidos. Com a monitoria, as aulas ganharam mais um recurso para auxiliar o professor, os estudantes conquistaram um apoio na resolução de dúvidas

e problemas além de desenvolver um trabalho de aulas práticas com a análise visual macroscópica de minerais e rochas. Ao término, concluiu-se que a presença de monitores no auxílio às atividades acadêmicas contribuiu significativamente para o desenvolvimento do conteúdo apresentado, notando que os alunos se empenharam bastante na busca pelo conhecimento já que havia um incentivo e motivação dos monitores para com os alunos, as notas das atividades avaliativas e o índice de aprovação da disciplina comprovam o ótimo trabalho realizado, apesar da baixa procura dos alunos fora das aulas presenciais. Para o monitor, a realização deste trabalho foi extremamente satisfatória e prazerosa, superando todas as expectativas.

PALAVRAS-CHAVE: Docência; Monitor; Aulas Práticas; Geociências.

STUDENT MENTOR OF DISCIPLINE GENERAL GEOLOGY FOR THE MINE ENGINEERING COURSE: AN EXPERIENCE REPORT

ABSTRACT: This paper aims to present an experience report of the activities developed in academic mentory, carried out in the second half of 2018 for two classes of the General Geology of the Mining Engineering course, at the Federal University of Goiás. The purpose of the monitoring project is to transmit the mentor's knowledge in order to support students who have graduated from the discipline, making learning mutual between the mentor and students who seek this opportunity, in addition to helping the teacher in their activities. Assistance to students

was carried out at the library building and at the Laboratory of Mineralogy, which is located on the 2nd floor of Block O, at pre-established times. With monitoring, the classes gained yet another resource to help the teacher, the students gained support in solving doubts and problems, in addition to developing practical classes with the macroscopic visual analysis of minerals and rocks. At the end, it was concluded that the presence of monitors to help with academic activities contributed significantly to the development of the content presented, noting that the students made a lot of effort in the search for knowledge as there was an incentive and motivation from the monitors towards the students, the grades of the evaluation activities and the approval rate of the discipline prove the excellent work carried out, despite the low demand from students outside the classroom. For the mentor, this work was extremely satisfying and pleasurable, surpassing all expectations.

KEYWORDS: Teaching; Mentor; Practical Classes; Geosciences.

1 | INTRODUÇÃO

A geologia é a ciência que estuda a história geral da Terra, suas estruturas, composição e até mesmo seus processos internos e externos que trouxeram, ao longo dos anos, a evolução do planeta para as condições de vida atual. Para tanto, tem-se hoje diversas formações geológicas e estruturas rochosas que indicam vestígios das transformações as quais o sistema foi submetido. As rochas são verdadeiras memórias que concentram fatos que podem ajudar a humanidade entender a origem da vida e a ambientação dos seres vivos. (GROTZINGER & JORDAN, 2006; LEINZ & AMARAL, 2001).

O interesse pelos fenômenos geológicos atuais foi pouco estimulado até meados do século XVIII no Brasil. A geologia tomou proporções de destaque, principalmente para entendimento da formação das mineralizações e dos depósitos minerais e dos seus métodos prospectivos. A partir desse conhecimento geológico que se faz a interface com o curso de Engenharia de Minas.

O programa de monitoria da Universidade Federal de Goiás abre oportunidades a cada semestre para que os estudantes possam se candidatar para vagas de monitor, desde que já tenham sido aprovados na disciplina de interesse (BRASIL, 2016). Em julho de 2018 foram abertas novas vagas, com 1 vaga para monitor remunerado para a disciplina de Geologia Geral com orientação da Prof^{ra}. Ma. Cibele Tunussi docente do curso de Engenharia de Minas. Atualmente o curso tem o direito a uma bolsa semestral de monitoria remunerada, podendo aplicá-la a qualquer disciplina ofertada pelos professores do departamento. O projeto é uma ótima oportunidade de realização de uma atividade complementar, vivência e aprendizado para docência.

Este trabalho tem por objetivo relatar a experiência obtida pelo monitor ao assumir essa função, realizando uma troca de conhecimentos e buscando sempre a melhor forma de auxiliar os interessados pelos atendimentos.

O processo de monitoria teve o intuito de selecionar um monitor para auxiliar os

alunos da disciplina de Geologia Geral, apresentando-os conceitos geológicos e reforçando o conhecimento adquirido em sala de aula, assim como noções básicas de descrição macroscópica de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. De suma importância também o auxílio ao professor em preparações de atividades para os alunos.

2 | METODOLOGIA

Para a monitoria acadêmica da disciplina de Geologia Geral, foi realizado um Plano de Trabalho pelo orientador em conjunto com o monitor. Das 12 horas que o monitor deve dedicar às atividades de monitoria, foram destinadas 6 horas semanais para atendimento aos estudantes de baixo rendimento na aprendizagem. O local de atendimento foi no prédio da biblioteca da Regional Catalão e no laboratório de mineralogia do curso de Engenharia de Minas para as dúvidas de aulas práticas, em horários pré-estabelecidos. As demais horas de atividades desenvolvidas pelo monitor, foram para reuniões com a orientadora (2 horas semanais) e o planejamento de atividades (4 horas semanais). É importante destacar que a disciplina consiste em aulas teóricas e práticas, na aplicação de avaliações em sala de aula e trabalhos relacionados ao conhecimento de descrição macroscópica de minerais, rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, assim como uma descrição ampla sobre o ambiente e processo de formação das rochas.

Para o desenvolvimento de tais atividades, adotou-se a leitura, pesquisa e revisão de livros orientados no plano de ensino da disciplina, assim como estudos de mapas geológicos do Estado de Goiás e do Brasil, e estudo dos minerais e rochas. Para as aulas práticas, faz-se o uso de lupas de bolso e lupas binoculares de bancada para melhor análise desses minerais e das rochas (Figura 1).



Figura 1: Amostras de rocha sendo analisadas em lupa binocular.

Fonte: Arquivo pessoal.

As aulas práticas extraclasse, em sua grande maioria, foram acompanhadas pela professora orientadora e pela técnica do laboratório, geóloga Ma. Florença das Graças Moura.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A disciplina de Geologia Geral foi ofertada durante o segundo semestre de 2018 em duas turmas com o total de 57 alunos.

Em um primeiro momento foram organizados atendimentos no piso inferior do prédio da biblioteca do campus para solucionar dúvidas e atividades propostas em sala a serem desenvolvidas durante a semana. Em um segundo momento foram realizados atendimentos no laboratório de Mineralogia do curso de engenharia de minas, com o intuito de apresentar amostras de rochas. Estes atendimentos foram marcados em diversos horários de acordo com a demanda e o espaço físico do laboratório que comporta poucas pessoas de uma só vez. Através destes encontros, os alunos tiveram maior contato a prática da disciplina, possibilitando-os a um melhor entendimento do conteúdo teórico visto.

As etapas das atividades realizadas começaram com um levantamento prévio das rochas disponíveis no acervo didático do laboratório. Após o levantamento das amostras, estas foram separadas por filiação genética (Rochas Ígneas, Rochas Metamórficas e Rochas Sedimentares) qualificando-as. A partir dessas rochas disponíveis, foi desenvolvido

para a disciplina um trabalho sobre análise visual macroscópica, dessas amostras para entendimento e compreensão de sua composição, estruturas observadas e ambiente formador, possibilitando a integração de conceitos apresentados nas aulas teóricas da disciplina de Geologia Geral.

Partindo deste pressuposto, foram selecionadas 28 amostras distribuindo-as por sorteio para atividade desenvolvida em duplas de alunos que se dispuseram a apresentar um trabalho com informações detalhadas da rocha em questão. Das 28 amostras, 10 são exemplares de rochas Ígneas, 10 de Rochas Metamórficas e 8 de Rochas Sedimentares. A Tabela 1 apresenta as rochas selecionadas para que os estudantes pudessem realizar um trabalho avaliativo fazendo uma seleção de forma que todos os grupos pegassem uma rocha em que pudessem observar o máximo de características geológicas possíveis.

Rocha Ígnea	Rocha Metamórfica	Rocha Sedimentar
Granito	Ardósia	Folhelho
Riolito	Micaxisto	Siltito
Basalto	Granada micaxisto	Arenito
Gabro	Quartzito	Conglomerado
Anortosito	Augen gnaiss	Arenito micáceo
Diabásio	Mármore	Quartzo conglomerado
Diorito	Biotita gnaiss	Siltito ²
Sienito	Cordierita hornfels	Folhelho ²
Gabro ²	Filito	
Basalto ²	Silimanita granada gnaiss	

Tabela 1: Nome das amostras de rochas Ígneas, Metamórficas e Sedimentares selecionadas para trabalho avaliativo.

Como complemento dessa atividade prática, foram criadas algumas questões juntamente com a professora orientadora e outros dois monitores voluntários da disciplina, a respeito dos três tipos de rochas (Ígneas, Sedimentares e Metamórficas) que poderiam ser inseridas no trabalho avaliativo e que estabelecessem as relações de integração das informações abordadas na disciplina em aulas teóricas. Fez-se também uma análise de mapas Geológicos e pesquisa extraclasse das possíveis ocorrências dessas rochas no

Estado de Goiás, suas relações no ambiente de formação e estudo da escala de tempo geológico.

A Figura 2 mostra algumas amostras das rochas utilizadas na atividade para descrição macroscópica e auxílio na resolução das questões desenvolvidas na experiência de monitoria.



Figura 2: Algumas amostras rochas utilizadas para análise macroscópica nas atividades de monitoria.

Fonte: Arquivo pessoal.

Os alunos gostaram muito da experiência de utilização de lupas de bolso e de lupas binoculares de bancada, possibilitando observar as características dos minerais presentes nas rochas e das estruturas observadas, muitas vezes difíceis de serem vistas a olho nu.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabe-se que a geologia é uma ciência muito importante e bastante ampla em se tratando dos conhecimentos empregados em um curso de engenharia de minas, logo torna-se extremamente gratificante empregar oportunidades de monitoria para disciplinas nesse segmento, sabendo que esta área carece de um maior apoio dos estudantes em comparação a outros pilares do curso.

Com isso, a oportunidade foi de grande aprendizado e sucesso, pois proporcionou ao professor um apoio para preparação e organização de atividades, auxiliou os estudantes em dúvidas e questões práticas da disciplina como descrição visual das amostras e entendimento do funcionamento de uma lupa de bancada, além de estimular o monitor a sempre buscar melhorias e formas de passar o conhecimento adiante, sendo portanto, produtiva e satisfatória. Outro ponto positivo foi a oferta uma vaga remunerada, o que possibilitou um auxílio financeiro para o monitor melhor colocado na prova seletiva além de mostrar o incentivo do curso para esta área de aprendizado. A monitoria contribuiu para que o monitor entendesse o seu papel na edificação do elo ensino-aprendizagem, fazendo com que ele tenha o sentimento de dever cumprido atuando com responsabilidade juntamente

com o docente em seu processo de formação como engenheiro. Esta gratificação traz ao estudante monitor da disciplina a felicidade de poder contribuir para o curso e de se desempenhar ao máximo para as práticas de ensino que, com certeza, abrirão portas de oportunidades futuras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Graduação (COGRAD) da Regional Catalão (UFG) e ao curso de Engenharia de Minas pela disponibilização da única bolsa de monitoria remunerada do curso à disciplina de Geologia Geral, sendo o discente Marcos Henrique Pacheco participante do Programa de Monitoria edital 2018/2, aprovado em primeiro lugar no processo de seleção e contemplado com a mesma.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Universidade Federal de Goiás. **Resolução CEPEC 1418/2016**. Regulamenta o Programa de Monitoria dos Cursos de Graduação da Universidade Federal de Goiás (UFG), e revoga a Resolução CEPEC N° 1190.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para entender a Terra**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

LEINZ, V.; AMARAL, S.E. **Geologia Geral**. 14. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2001. 399p.

CARACTERIZACIÓN MORFOGENÉTICAS Y CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DE LA CUENCA DE SALINAS GRANDES, PUNA NORTE ARGENTINA

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 10/09/2021

María del Carmen Visich

Cátedra de Geomorfología, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina
<https://orcid.org/0000-0002-5107-9199>

CARACTERIZAÇÃO MORFOGENÉTICA E CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DA BACIA DAS SALINAS GRANDES, PUNA NORTE DA ARGENTINA

RESUMO: A bacia do rio Salinas Grandes inclui territórios nas províncias de Salta e Jujuy. Puna do Norte, Argentina. Ocupa o extremo sul da depressão denominada Bacia Abra Pampa-Salinas Grandes. A morfologia da depressão é conformada a uma baixa morfoestrutural delimitada por quedas sub-meridionais, em que um sistema relativamente extenso de lagoas salinas se instalou no final do Pleistoceno, sujeito a retrações e expansões, formando uma única bacia do lago Guayatayoc-Salinas, uma profundidade média de 25 a 40 metros em períodos de alto nível do lago. Eventos neotectônicos (~ 18 Ka) foram responsáveis pela separação em sub-quantidades que evoluíram de forma diferente durante o Holoceno: grandes planícies salinas, como uma salina no bolsão superior e a lagoa Guayatayoc como um lago efêmero-raso no norte. Eles também intervieram

nas variações climáticas e no abastecimento de águas subterrâneas e hidrotermais. O Quaternário, início do Pleistoceno médio, começa com depósitos em leques aluviais do 1º Ciclo, Primeiro Nível e Terras Baixas (1,7 e 0,85 Ma), seguidos por depósitos ignimbríticos do Pleistoceno Médio (0,5 Ma). O resfriamento generalizado na área é indicado por moreias formadas em diferentes pulsos (MIS 3 [~ 60-25 Ka), (LGM) Último máximo glacial (~ 26,5-19 Ka), Dryas mais jovem (~ 12 Ka AP)], Depósitos aluviais em Fan 2º ciclo e 2º nível (77 ± 7 Ka). As variações climáticas do Plenilacustre Pleistoceno são representadas por leques aluviais de 3º Ciclo e 3º Nível de Frontão. As características geológicas da bacia foram analisadas e descritas para a reconstrução paleoambiental. O esquema de desenvolvimento paleoclimático e paleoambiental definido para a Bacia Salinas Grandes seria representativo da Setentrional La Puna. Este esquema apresenta semelhanças com outras bacias dos Andes Centrais e é uma contribuição para a questão das mudanças climáticas e para o conhecimento das unidades quaternárias, dada a sua relação com a geomorfologia.

PALAVRAS-CHAVE: Morfologia, reconstrução paleoclimática, caracterização geológica.

MORPHOGENETIC CHARACTERIZATION AND GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE SALINAS GRANDES BASIN, PUNA NORTH ARGENTINA

ABSTRACT: The Salinas Grandes basin covers territories in the provinces of Salta and

Jujuy. Northern Puna, Argentina. It occupies the southern end of the depression called the Abra Pampa-Salinas Grandes Basin. The morphology of the depression forms a low morphostructural delimited by submeridional faults, in which a relatively extensive, shallow, saline lagoon system was installed in the late Pleistocene, subjected to retractions and expansions, forming a single Guayatayoc-Salinas Grandes Lake basin, the that reached an average depth of 25 to 40 meters in the periods of high lake level. Neotectonic events (~ 18 Ka) were responsible for the separation in two sub-basins that evolved differently during the Holocene: Salinas Grandes as a saline to the south of the bolsón and the Guayatayoc lagoon as an ephemeral-shallow lagoon to the north. The climatic variations and the contribution of underground and hydrothermal waters also intervened. The Quaternary, early-middle Pleistocene, begins with deposits of alluvial fans of the 1st Cycle, First Level Pediment and Bajadas (1.7 and 0.85 Ma), followed by ignimbritic deposits from the Middle Pleistocene (0.5 Ma). The generalized cooling in the area is indicated by moray eels formed in different pulses (MIS 3 [~ 60-25 Ka), (LGM) Last Glacial Maximum (~ 26.5-19 Ka), Younger Dryas (~ 12 Ka AP)], deposits of alluvial fans 2nd Cycle and Second Level Pediment (77 ± 7 Ka). The climatic variations of the Pleistocene plenilacustre are represented by alluvial fans 3rd Cycle and 3rd Level Pediment. The geological characteristics of the basin were analyzed and described for the paleoenvironmental reconstruction. The paleoclimatic and paleoenvironmental development scheme defined for the Salinas Grandes Basin would be representative for the Puna Septentrional. This scheme bears similarities with other basins in the Central Andes and is a contribution to the issue of climate change and to the knowledge of quaternary units given their relationship with geomorphology.

KEYWORDS: Morphology, paleoclimate reconstruction, geological characterization.

1 | INTRODUCCIÓN

La cuenca de Salinas Grandes, se localiza en el noroeste de la República Argentina, en las provincias de Salta y Jujuy (Fig. 1), en el departamento jujeño de Tumbaya y en el salteño de La Poma, encontrándose el centro de la salina, próximo a las coordenadas $23^{\circ} 38' \text{LS}$ y $66^{\circ} 05' \text{LO}$, a una altitud promedio de 3.450 m s.n.m. Ocupa el extremo sur, de una depresión conocida como Cuenca Abra Pampa-Salinas Grandes, de 17.171 Km², con características propias de un relieve en bolsón. Pertenece a la Subprovincia Geológica Puna Septentrional.

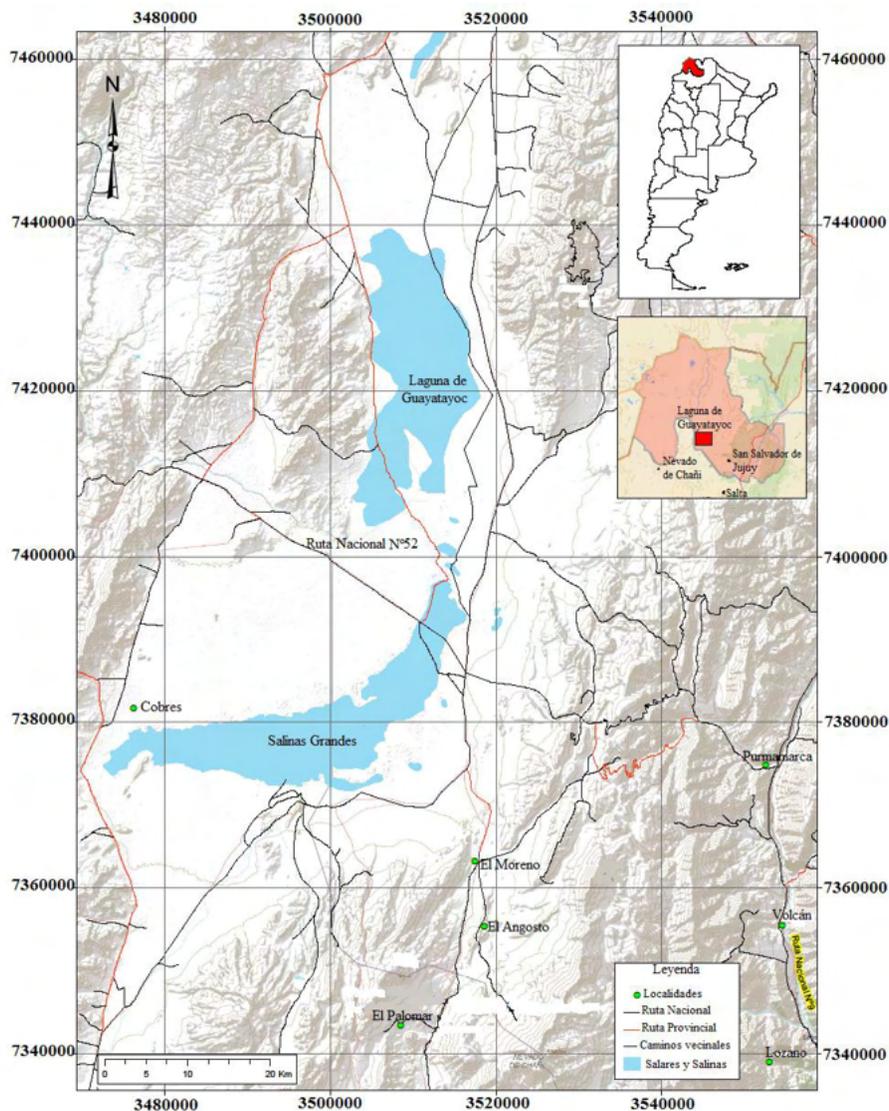


Figura 1: Mapa de ubicación.

La cuenca de Salinas Grandes corresponde a una depresión estructural limitada al norte por la Laguna de Guayatayoc con la que comparte la cuenca Abra Pampa-Salinas Grandes. Al este por un cordón montañoso que actúa como límite entre las regiones morfoestructurales de Puna y Cordillera Oriental y que corresponde a las estribaciones sur de la Sierra de Aguilar, Lipán -Alta y Sierra de Chañi. Son cadenas montañosas de orientación norte - sur, con altitudes que superan los 4.000 metros. Al sur, el límite está definido por el lineamiento de Salinas Grandes (Mon 1976), el que corta los relieves positivos que la delimitan por el oriente y occidente. Los relieves occidentales están constituidos por

las sierras de San Antonio y Cobres.

El presente trabajo tiene como objetivo efectuar la caracterización espacial de las principales unidades morfogénicas de la Cuenca de Salinas Grandes y sus características geológicas.

2 I MORFOLOGÍA DE LA CUENCA DE SALINAS GRANDES

2.1 Metodología de trabajo

Desde el punto de vista metodológico, la clasificación morfogénica se basó en los criterios establecidos por Van Zuidam y Van Zuidam Cancelado (1979), quienes agrupan a las formas del relieve en base al proceso predominante que les dio origen. Se utilizaron como base cartográfica imágenes satelitales descargadas en formato TIFF *Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)*, georeferenciadas, con el respaldo de la interpretación de fotografías aéreas a escala 1: 50.000 de la totalidad de la cuenca y controles en el terreno. Se obtuvo como resultado, el Mapa Morfogénico del área de estudio (Fig. 2), en el cual se representan: Unidades de Origen Estructural-Denudativo, Unidades de Origen Denudativo, Unidades de Origen Fluvial-Aluvial, Unidades de Origen Lacustre, Unidades de Origen Eólico y Unidades de Origen Glaciar. A continuación, se sintetizan las características más relevantes de cada una de ellas (Visich *et al.* 2015).

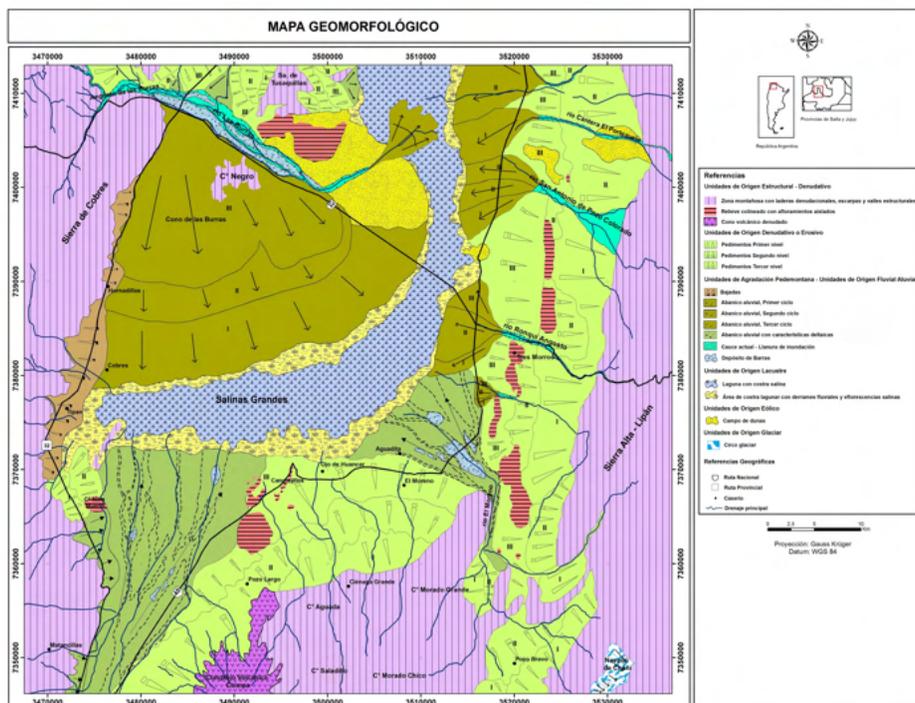


Figura 2: Mapa Morfogénico de la cuenca de Salinas Grandes.

2.2 Unidades de Origen Estructural-Denudativo

Agrupan los relieves que limitan la cuenca por el este, sur y oeste, generados por causas endógenas (litología y tectónica) y exógenas (meteorización, disección pluvio-fluvial y remoción en masa). Estas áreas fueron afectadas por procesos relacionados con pendientes pronunciadas, alta densidad del drenaje, valles secundarios profundos y empinados, presencia de material coluvial inconsolidado, ausencia de vegetación en las áreas cumbres, reactivaciones tectónicas terciarias, evidencias de dinámica criogénica, precipitaciones pluviales y nivales actuales.

Se identificaron 3 Unidades de Origen Estructural-Denudativo: 1) zona montañosa con laderas denudacionales, escarpas y valles estructurales, 2) relieve colineado con afloramientos aislados y 3) cono volcánico denudado.

La zona montañosa con laderas denudacionales, escarpas y valles estructurales está representada por montañas en bloques, con orientación submeridiana resultantes de la estructuración actual de la Puna a partir de una tectónica de tipo vertical (Rosario *et al.* 2008; Hong *et al.* 2010).

El relieve colineado con afloramientos aislados corresponde a afloramientos aislados, colineados identificados al oeste y sur de la cuenca, constituidos por rocas de diferente litología y génesis.

Al sur de la cuenca, el cono volcánico denudado está constituido por las rocas del complejo volcánico Chimpa (Arnosio 2002). Se caracteriza por las suaves pendientes originadas por la acumulación mantiforme de derrames lávicos.

2.3 Unidades de Origen Denudativo

Agrupan todas las formas o superficies modeladas por procesos denudacionales como la meteorización, el transporte de materiales por erosión y remoción en masa.

Se identificaron pedimentos: en la cuenca de Salinas Grandes se reconocieron tres niveles de pedimentos correspondientes a diferentes generaciones, desarrollados en el piedemonte de la ladera occidental de los relieves que circundan a la salina por el este y el sur asociados a diferentes ciclos de denudación.

La diferenciación entre los diferentes niveles de pedimentos hacia el noreste y sur de la cuenca se basa en criterios topográficos. Los pedimentos del primer nivel, corresponden a las Unidades Denudativas de mayor altura. Al este, se localizan en los contrafuertes occidentales del extremo distal de las sierras de Aguilar, Lipán-Alta y la sierra de Chañi; al sur de la cuenca, en el piedemonte de los relieves que constituyen el área montañosa y hacia el oeste en el extremo distal de la sierra de Cobres y en los piedemontes de la sierra de Tusaquillas y cuenca hidrográfica de Castro Tolay.

En el sector este, los pedimentos del primer nivel están cortados al noreste-sudoeste por una falla oblicua que los pone en contacto con un primer afloramiento de rocas del Grupo Salta que forman relieves colineados.

En el campo se observó que los materiales que cubren un tramo del sector oriental de la cuesta de Lipán (Primer Nivel, desarrollado sobre las litologías pre-orogénicas del Mesozoico, Paleozoico y Precámbrico), corresponden a depósitos de naturaleza cenoglomerádica, con espesores de 20 a 150 metros, integrados por conglomerados gruesos de composición cuarcítica y metamórfica, poco estratificados y subangulosos, con matriz limo-arenosa y carentes de estructuras sedimentarias. Las características de los materiales indican que fueron depositados por agentes de transporte de muy baja fluidez y elevada competencia, vinculando los depósitos cenoglomerádicos a procesos de remoción en masa.

En el campo se observaron, además, cicatrices de deslizamientos, las cuales constituyen indicadores geomorfológicos que permiten inferir que en la región habría aporte considerable de materiales procedentes de los relieves positivos en dirección a la cuenca. Este Primer Nivel, se encuentra intensamente disectado por el escurrimiento.

En el marco de esta investigación y a partir del análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales se reconocieron manifestaciones de tectónica en proximidades al caserío de Tres Morros, evidenciadas por una falla de rumbo meridiano que corta el primer nivel de pedimentos, el que presenta un nivel de 3.850 m s.n.m en tanto que al frente de la falla el nivel es de 3.600 m s.n.m. Es decir que el primer nivel de pedimentos ascendió aproximadamente 450 metros respecto al actual nivel de base, lo cual podría ser respuesta al levantamiento durante la fase Diaguaita o último estadio de la fase Quechua.

Al este de la cuenca, los pedimentos del segundo y tercer nivel, se ubican a menor cota, corresponden a los de altura media y baja y están delimitados por afloramientos cretácicos aislados de la Formación Yacoraite.

Los pedimentos están cubiertos por conglomerados gruesos que conforman el material en tránsito de los antiguos pedimentos desarrollados sobre depósitos neógenos. Probablemente, y en función de la tectónica del área, el origen del primer y segundo nivel se deba, además, al progresivo levantamiento de los relieves que conforman la depresión.

Tanto las observaciones realizadas en el campo como el análisis de las fotografías aéreas e imágenes satelitales, muestran que, al este de la cuenca, el límite de los pedimentos mencionados coincide con cordones montañosos paralelos controlados por fallas, estando materializado uno de éstos en el poblado de Tres Morros.

Los depósitos del tercer nivel ubicados en el sector distal de los relieves de las zonas montañosas, corresponden a depósitos cenoglomerádicos y aluviales actuales con capas estratificadas de gravas y arenas. El escurrimiento constituye un proceso importante en la evolución de estas morfologías.

En el Mapa Morfogenético (Fig. 2) es posible reconocer sectores, en los que los depósitos distales de los pedimentos del tercer nivel, se intercalan con sedimentos eólicos y evaporíticos, principalmente en el borde oriental y sur de la cuenca.

2.4 Unidades de Unidades de Origen Fluvial-Aluvial

Estas unidades están representadas por: a) Bajadas, b) Abanicos aluviales, c) Abanicos aluviales con características deltaicas y d) Cauces actuales-Ilanuras de inundación.

a) Bajadas: corresponden a geformas desarrolladas en el extremo distal oriental de la Sierra de Cobres, originadas a partir de la coalescencia de abanicos aluviales infuncionales por lo que presentan la morfología propia de abanicos aluviales. Están formadas por el depósito de material detrítico procedente del escurrimiento superficial de los cursos secundarios que escurren por las quebradas que disectan el relieve en dirección a la salina. En el caso de la cuenca de Salinas Grandes, las bajadas se forman en zonas caracterizadas por discontinuidades topográficas.

b) Abanicos aluviales: en la región estudiada, se diferencian el abanico del sector occidental de los abanicos del sector oriental. El primero corresponde al abanico aluvial de Las Burras que presenta tres ciclos transversales de aluvionamiento que resultan de las variaciones climáticas ocurridas en el Cuaternario y de la tectónica que afectó a la cuenca durante el Mioceno- Plioceno, y los segundos a los abanicos de los ríos Cantera El Portezuelo, San Antonio de Pozo Colorado y Ronqui Angosto (de N a S), caracterizados por presentar ciclos longitudinales relacionados con la tectónica que afectó a este sector de la cuenca (determinado a partir de interpretaciones sísmicas inéditas).

c) Abanicos aluviales con características deltaicas: desarrollados a partir de cauces con diseño entrelazado, con barras interiores y cauces divergentes, los cuales al llegar al cuerpo lacustre de Salinas Grandes desarrollan una morfología deltaica, la cual forma parte de la configuración general del abanico. Desde la parte media, la planicie de inundación prograda directamente hacia la salina.

d) Cauces actuales-Ilanuras de inundación: corresponden a la morfología fluvial actual constituida por procesos de acreción lateral. Son llanuras de inundación amplias caracterizadas por depósitos de barra y remanentes de terrazas.

2.5 Unidades de Origen Lacustre

Representadas por: a) Laguna de costra salina ubicada en el depocentro de la cuenca y b) área de costra lagunar con derrame fluvial y eflorescencias salinas.

a) Laguna de costra salina ubicada en el depocentro de la cuenca: constituye morfológicamente, la zona más baja de la cuenca (3.428 m s.n.m.) y corresponde a una depresión tectónica limitada por dos fallas, la del sector occidental es una falla inversa, aproximadamente 60°, con vergencia hacia el este y, la del sector oriental una falla directa de rumbo N-S, inclinada, con alto ángulo, 80° hacia el oeste, con indicios de inversión débil y ocupada por depósitos evaporíticos lo que significa que el volumen de agua que ingresa a la depresión es menor que la evaporación, por lo tanto, la carga de solutos es elevada, aun cuando, como en el caso de Salinas Grandes, presenta un régimen casi estacional secándose durante las épocas

invernales (Visich *et al.* 2017).

En las condiciones climáticas actuales, el volumen de agua que ingresa a la cuenca es menor que el volumen que sale por lo que el nivel del agua tiende a descender produciendo la concentración de sales en disolución, las cuales al llegar a la saturación precipitan de acuerdo a su solubilidad.

El agua superficial que ingresa a la cuenca lo hace cargada de iones procedentes de la disolución de las rocas circundantes: de las rocas cristalinas y volcánicas ácidas transporta mayoritariamente cationes de Na^+ y K^+ y aniones de HCO_3^- (atmosférico), de las rocas cristalinas y volcánicas básicas los cationes de Ca^{++} y Mg^{++} y los aniones de HCO_3^- (atmosférico) y de las rocas sedimentarias transporta mayormente los cationes de Ca^{++} , Mg^{++} , y en menor proporción Na^+ , K^+ y los aniones de HCO_3^- (atmosférico y rocas), SO_4^- y Cl^- .

b) Área de costra lagunar con derrame fluvial y eflorescencias salinas: rodea periféricamente la laguna de costra salina. El perímetro es variable en función del cambio de pendiente y de la extensión de las diferentes morfologías que se desarrollan hacia la salina.

El depocentro salino presenta una distribución de facies vertical y horizontal concéntrica, formando un dispositivo de salinidad con una leve asimetría resultante de la tectónica transtensiva que generó cuencas del tipo *pull-apart* y de las morfologías que lo rodean. Análisis mineralógicos indican que la zonación, desde los bordes hacia el centro está representada por carbonatos (travertinos), sulfatos (yeso, asociado a arenas yesíferas y gipsarenita), boratos (ulexita) y cloruros como halita, silvita y bischofita, propias de un ambiente evaporítico continental.

2.6 Unidades de Origen Eólico

Constituidas por acumulaciones de arena con morfologías características, como dunas parabólicas, dunas longitudinales o lineales, dunas trepadoras y *nebkas*. Las morfologías varían según el suministro de arena, la dirección de los vientos predominantes y la presencia de vegetación (tolas).

En el campo se observaron, sobre la parte norte del abanico de Las Burras, dunas longitudinales o lineales. La dirección indica que se desplazan en la dirección del viento dominante. Existen sitios en esta zona donde se reconocieron, además de las formas citadas, dunas parabólicas parcialmente cubiertas de vegetación en la zona de barlovento, lo que permite que la parte central avance. La existencia de estas morfologías indica la predominancia de vientos unidireccionales. Se reconocieron sectores en los que estas formas se desarrollan sobre dunas estabilizadas.

Al sur y al este de la cuenca la acción eólica retrabaja los sedimentos aluviales actuales y los depósitos eólicos parcialmente estabilizados dando lugar a la generación de *nebkas*.

Para la generación de los diferentes depósitos, las principales áreas de provisión de sedimentos la constituyen los sedimentos sueltos de las llanuras aluviales conformadas por cantidades significativas de arena y limo. El abanico de Las Burras es también una zona de suministro, especialmente las áreas medias y distales en las que el porcentaje de partículas finas es abundante. La vegetación, tanto del abanico aluvial del río Las Burras como la de los ambientes circundantes a la salina, constituye un elemento fijador de las formas eólicas, las que actualmente y por la extracción antrópica están siendo desestabilizadas, especialmente en los sectores próximos a los caseríos de Tres Morros (hacia el Sur de la Salina) y San Antonio de Pozo Colorado (hacia el Norte).

Los mecanismos de emisión de partículas están representados básicamente por procesos de termoclástismo, hidratación, haloclástismo y abrasión eólica.

Por su posición estratigráfica se los asigna al Holoceno-actual.

Se considera que el accionar eólico ha actuado, principalmente, debido al marcado incremento en las condiciones de aridez ocurrido con posterioridad a la última Glaciación. Probablemente coincidente con un período seco, desarrollado en el Holoceno Medio- Superior, que implicó prácticamente la inactividad de la red fluvial pedemontana y la desecación de los cuerpos lacustres de Salinas Grandes y Guayatayoc. No existen evidencias de que la acción eólica haya menguado su intensidad durante el Neoglacial; sin embargo, constituye actualmente uno de los principales procesos en la salina, especialmente en aquellos sectores donde las formas se encuentran desprotegidas por la extracción de tolas por parte de los lugareños.

2.7 Unidades de Origen Glaciarío

En la cuenca de Salinas Grandes las formas glaciarias se encuentran localizadas por encima de los 4.500 a 5.000 metros de altura. De la interpretación de fotografías aéreas (1:50.000), realizadas en los relieves del sector E de la cuenca, surge que sólo en la parte cuspidal del cordón del Nevado de Chañi se desarrollaron morfologías glaciarias entre las que se reconocen circos y morenas laterales, centrales y frontales formadas en diferentes pulsos [(MIS 3 ~60-25 Ka), (LGM) Último Máximo Glacial (~26,5-19 Ka), *Younger Dryas* (~12 Ka AP)].

3 | CARACTERÍSTICAS DEL AMBIENTE GEOLÓGICO DE LA CUENCA DE SALINAS GRANDES

El análisis del ambiente geológico de la región se realizó sobre la base de numerosos antecedentes y trabajos realizados por otros autores e instituciones y, en los casos que fue necesario, se efectuaron observaciones de campo propias que permitieron corroborar la información preexistente y modificar algunos aspectos que así lo ameritaban.

Las rocas más antiguas aflorantes en la zona de estudio son del Neoproterozoico

– Cámbrico Inferior y están representadas por la Formación Puncoviscana. Esta Unidad Litoestratigráfica se encuentra en los relieves positivos del sector Este y Sur de la cuenca, intruida por los plutones de las Formaciones La Quesera y Chañi, que conforman la evidencia de un arco magmático asociado a la subducción de la corteza oceánica por debajo de Pampia, previo a la colisión y cierre de la cuenca oceánica (Ramos 1999; Omarini 1999). Posteriormente se depositaron las sedimentitas marinas del Cámbrico Medio y Superior del Grupo Mesón, sobre las que se apoyaron discordantemente las sedimentitas marinas del Ordovícico Inferior a Medio del Grupo Santa Victoria, constituidas por los afloramientos del extremo sur de las sierras de Aguilar y Alta, representando estas rocas, las posiciones más distales de la cuenca ordovícica (Moya 2008). Hacia el Oeste, las rocas ordovícicas están caracterizadas por los depósitos de plataforma de la Puna, los que indican la transición entre el Grupo Santa Victoria (Este de la cuenca, Cordillera Oriental) y el Grupo Cobres (Oeste de la cuenca, Puna). Los depósitos muestran que la evolución geológica de la Sierra de Cobres comenzó con la sedimentación de sucesiones de plataforma en una cuenca de trasarco durante el Tremadociano, plegados entre el Tremadociano alto y el Arenigiano inferior en condiciones físicas de baja temperatura (Hongn *et al.* 2008). Posteriormente, se implantó una anomalía térmica que generó metamorfismo y magmatismo sintectónico por lo que las sucesiones tremadocianas alojan rocas magmáticas incluidas en el Complejo Plutónico Cobres.

El magmatismo Cámbrico tardío-Tremadociano inferior-Arenigiano, constituye uno de los factores que inciden en la generación del tipo de depósitos que caracterizan a las cuencas salinas. Asociado a este factor se generan relieves como los de la Faja Eruptiva de la Puna Oriental, (Zappettini 2008) y el arco magmático de la Faja Eruptiva de Puna Occidental, (Coira 2008). La denominada Faja Eruptiva de la Puna Oriental está representada por afloramientos graníticos y granodioríticos expuestos en la Sierra de Cobres (Zappettini 2008). Este complejo, conjuntamente con manifestaciones volcánicas, intruyen sedimentitas ordovícicas metamorizadas y, a su vez, son intruidos por diques del Cretácico inferior. Continuando hacia el norte de la Sierra de Cobres y pertenecientes a la Faja Eruptiva de la Puna Oriental, se encuentran diversos plutones, entre ellos el granito Las Burras (Zappettini 1989), responsable del encajonamiento del río Las Burras.

Intruyendo a la secuencia volcano sedimentaria ordovícica o Complejo de Plataforma de la Puna se emplazaron, al Noroeste de la cuenca, cuerpos ígneos postordovícicos - prejurásicos (Menegatti 2001), representados por las rocas del Complejo Alcalino Sierra de Rangel. Desde el Silúrico Superior al Jurásico Superior, los terrenos que rodean la cuenca de Salinas Grandes, constituyeron altos topográficos sometidos a erosión. Con posterioridad (*rift* preandino) a las intrusiones plutónicas del Noreste (Aguilar, Abra Laite, Fundición y Tusaquillas), se registró la depositación de las unidades pertenecientes al Grupo Salta, las que fueron afectadas por levantamientos y erosión durante el Eoceno Medio y el Pleistoceno. El diastrofismo incaico tuvo vigencia en todo el ámbito de la cuenca

del Grupo Salta durante la última etapa de su historia deposicional (Formación Lumbreira). Como consecuencia, finalizó la depositación y la cuenca emergió, siendo posteriormente erosionada. La fase incaica fue la responsable de la discordancia entre el Grupo Salta y las sedimentitas del Grupo Orán, depositada durante el Terciario Medio a Superior, cuando la Puna y la Cordillera Oriental fueron levantadas hasta su posición actual y sobrecorridas hacia el naciente, generando la erosión de los relieves, lo que dio lugar al relleno sedimentario arenoso conglomerádico del Grupo Orán.

Durante el Cuaternario se originó una reactivación de las cuencas (Carrapa *et al.* 2008) conformando terrenos con distintas morfologías. El Pleistoceno temprano-medio se caracterizó por la formación de depósitos sedimentarios de abanicos aluviales 1er Ciclo, Pedimento Primer Nivel y bajadas. El Pleistoceno medio por los depósitos piroclásticos de la Ignimbrita Coranzulí. El Pleistoceno tardío por depósitos glaciares caracterizados por morenas laterales, centrales y frontales, depósitos de abanicos aluviales 2do Ciclo, Pedimento Segundo Nivel, depósitos lacustres, humedales salinos y depósitos de abanicos aluviales 3er Ciclo, Pedimento Tercer Nivel. El Holoceno por depósitos evaporíticos, eólicos y coluviales.

4 | CONCLUSIONES

1) Los salares de la Puna Argentina representan la concurrencia y singularidad fenomenológica de diversos factores geológicos y climáticos en el marco de un orógeno no colisional. Los tres elementos mayores que se conjugan en la generación de los salares son el volcanismo, la tectónica y el clima. Dicha fenomenología es consecuencia directa de la subducción a 30°E de la placa oceánica de Nazca por debajo de la placa continental sudamericana.

2) El Altiplano-Puna (*High Plateau*), es una cuenca endorreica de primer orden, la que sólo es superada en extensión por el Tíbet y que está limitada por un arco volcánico continental al occidente (Cordillera Volcánica) y una cadena montañosa al oriente (Cordillera Oriental). Ambos relieves positivos se elevan con picos que superan los 5 a 6 km sobre el nivel del mar. La Puna Argentina es el sector austral del Altiplano-Puna y se encuentra compartimentalizada por cadenas volcánicas neógenas con orientación ONO (transversales al rumbo andino) y sierras de orientación meridiana, mayormente bloques tectónicos de rocas paleozoicas (del Ordovícico). Dicha compartimentalización genera depresiones cerradas, con drenaje endorreico, a unos 4.000 m s.n.m. que son definidas como cuencas de intra-arco/intra-plateau. En el interior de dichas cuencas se forman los salares por la concurrencia del volcanismo, endorreísmo, termalismo y clima árido.

3) La cuenca sedimentaria de Salinas Grandes corresponde a un hemigraben asimétrico ubicado en la Puna Septentrional argentina en una zona de transición entre las provincias geológicas de Puna y Cordillera Oriental. El nivel de base está representado por el salar, el cual cubre un área de 220 km² con una altitud de 3.450 m

s.n.m. La cuenca hidrográfica de Salinas Grandes- Guayatayoc, con una superficie de 17.171 km² constituye la zona austral del Bolsón Abra Pampa- Salinas Grandes.

3) Afloran en la cuenca de Salinas Grandes rocas de edad precámbrica (Formación Puncoviscana), cámbrica (Grupo Mesón) y ordovícica (Grupo Santa Victoria) en los relieves del este. Al sur, las formaciones mencionadas fueron intruidas por plutones como los de la Quesera, Chañi y El Moreno, cámbricos-ordovícicos. Al oeste, por rocas ordovícicas del Grupo Santa Victoria y de la Faja eruptiva de Puna Oriental. Desde el Cretácico-Paleógeno la depositación de los sedimentos del Grupo Salta, estuvo vinculada a la tectónica de la cuenca relacionada con el primer episodio distensivo. Durante el segundo episodio compresivo se depositaron los sedimentos del Subgrupo Jujuy. El Cuaternario está representado en el Pleistoceno temprano-medio por la formación de depósitos sedimentarios de abanicos aluviales 1er Ciclo, Pedimento Primer Nivel y bajadas. El Pleistoceno medio por los depósitos piroclásticos de la Ignimbrita Coranzulí. El Pleistoceno tardío por depósitos glaciares caracterizados por morenas laterales, centrales y frontales, depósitos de abanicos aluviales 2do Ciclo, Pedimento Segundo Nivel, depósitos lacustres, humedales salinos y depósitos de abanicos aluviales 3er Ciclo, Pedimento Tercer Nivel. El Holoceno por depósitos evaporíticos, eólicos y coluviales. En la cuenca de Salinas Grandes el interglaciar Holoceno produjo un aumento de la salinidad por efecto de la evaporación y mayor concentración de sales, por ser el escalón final del Bolsón Abra Pampa-Salinas Grandes sumado al cambio climático, transformándolo en una salina. La salina está constituida por una secuencia sedimentaria de 2 a 8 metros de espesor, caracterizada por niveles pelíticos en la base de color pardo rojizo, que pasan a facies evaporíticas representados por arenas yesíferas, que algunos sectores hospedan boratos (ulexita) y por costras salinas (halita). Completan este ambiente los depósitos eólicos (dunas longitudinales o lineales, dunas trepadoras y dunas parabólicas) y eventos coluviales.

4) La morfología de la cuenca está constituida por Unidades de Origen: I) Estructural-Denudativo. II) Denudativo. III) Fluvial-Aluvial. IV) Lacustre. V) Eólico y VI) Glaciar.

REFERENCIAS

ARNOSIO, Marcelo. **Volcanismo, Geoquímica y petrología del Volcán Chimpa (24° LS – 66° LO)**. 2002. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Salta (Inédita), Salta, República Argentina, 2002. p. 139.

CARRAPA, Barbara y DE CELLES, Peter. ***Eocene exhumation and basin development in the Puna of northwestern Argentina***. En: *Tectonics* 27, TC1015, Doi: 10.1029/2007TC002127. 2008.

COIRA, Beatriz, **Recursos geotérmicos de alta entalpía de la Provincia de Jujuy**. En Coira, Beatriz y Zappettini, Eduardo (eds.) *Geología y recursos naturales de la Provincia de Jujuy*, Relatorio del 17° Congreso Geológico Argentino, 2008. p. 63-576.

HONGN, Fernando; DEL PAPA, Cecilia; POWELL, Jaime; PETRINOVIC, Iván y MON, Ricardo. **Discordancias en el cerro Tintín (Salta): claves para interpretar la evolución tectónica en el noroeste argentino**. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 26-27, 2008. Jujuy.

HONGN, Fernando; MON, Ricardo; PETRINOVIC, Iván; DEL PAPA, C. y POWELL, Jaime. **Inversión y reactivación tectónica cretácica cenozoica en el Noroeste Argentino: influencia de las heterogeneidades del basamento Neoproterozoico-paleozoico inferior.** 2010. Revista de la Asociación Geológica Argentina, volumen n° 66, 1-2 p.

MENEGATTI, Nilda. **El Complejo Alcalino Sierra de Rangel. Provincia de Salta. Argentina.** Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina, 2001. p.1-153.

MON, Ricardo. **La tectónica del borde oriental andino de las provincias de Salta, Jujuy, Tucumán y Catamarca,** Asociación Geológica Argentina. 1976. p. 65-72.

MOYA, Mónica. **El paleozoico inferior en el Noroeste argentino. Evidencias, Incógnitas, propuestas para la discusión.** Relatorio XVII Congreso Geológico Argentino, San Salvador de Jujuy, Geología y recursos naturales de la provincia de Jujuy. 2008. p.74-84.

OMARINI, Ricardo; SUREDA, Ricardo; GÖTZE, Hans-Jürgen; SEILACHER, Adolf y PFLÜGER, Friedrich. **Puncoviscana folded belt in northwestern Argentina: testimony of Late Proterozoic Rodinia fragmentation and pre-Gondwana collisional episodes.** International Journal of Earth Science, 1999. p. 76-97.

RAMOS, Víctor. **Rasgos estructurales del territorio argentino.1. Evolución tectónica de la argentina. Instituto de geología y recursos minerales.** Geología Argentina Capítulo 24. 1999. p. 715-784, Buenos Aires.

VAN ZUIDMAN, Robert y VAN ZUIDMAN CANCELADO, Flor Inés. **Textbook of Photo-Interpretation. Volumen VII. Use of aerial detection in geomorphology and geographical landscape analysis. Chapter 6. Terrain analysis and classification using aerial photographs. A geomorphological approach.** 1979.

VISICH, María del Carmen y COLLANTES, Miriam. **Caracterización morfogenética de la cuenca de Salinas Grandes, Puna septentrional Argentina.** VI Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, Ushuaia. ISBN 978-987-3767-34-0. 2015. p. 287- 288.

VISICH, María del Carmen, CAMACHO, María y KULEMEYER, Julio. **Los depósitos lacustres y su relación con los eventos fríos húmedos del pleistoceno en la cuenca Guayatayoc-Salinas Grandes, Puna, Argentina.** XX Congreso Geológico Argentino. 2017.

ZAPPETTINI, Eduardo. **Geología y metalogénesis de la región comprendida entre las localidades de Santa Ana y Cobres, Provincias de Jujuy y Salta. República Argentina.** Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires. 1989. p. 30-35.

ZAPPETTINI, Eduardo, **Metalogénesis asociada al plutonismo mesozoico en Jujuy.** En: COIRA, Beatriz y ZAPPETTINI, Eduardo (eds.): Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Jujuy. 17° Congreso Geológico Argentino, Relatorio, 2008. p. 259-262, Jujuy.

CAPÍTULO 12

O ENSINO DE CIÊNCIAS NO ENSINO FUNDAMENTAL: EXPERIMENTO PARA PURIFICAÇÃO DA ÁGUA

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 06/08/2021

Sandra Cadore Peixoto

Universidade Franciscana – Santa Maria – RS
- Brasil
Programa de Pós-graduação em Ensino de
Ciências e Matemática
<https://orcid.org/0000-0002-1684-035X>

Ail Conceição Meireles Ortiz

Universidade Franciscana– Santa Maria – RS
- Brasil
Área Ciências Humanas
<https://orcid.org/0000-0002-9881-3573>

Janilse Fernandes Nunes

Universidade Franciscana– Santa Maria – RS
- Brasil
Programa de Pós-graduação em Ensino de
Ciências e Matemática
<https://orcid.org/0000-0002-1443-1296>

RESUMO: O presente trabalho consiste em apresentar fundamentos teórico-práticos em torno de uma proposta de *kit* didático pedagógico para o desenvolvimento de ações integrantes do projeto de pesquisa “Ciência e tecnologia do plástico: um argumento para construção de espaços colaborativos de ensino e da abordagem de práticas sustentáveis na educação básica”, financiada pelo CNPq por meio do Programa Ciência na Escola. O Ensino de Ciências permite introduzir e explorar as informações relacionadas aos fenômenos naturais, à saúde,

a tecnologia, a sociedade e ao meio ambiente, favorecendo a construção e ampliação de novos conhecimentos. Corroborando, Bizzo (2009) explica que o Ensino de Ciências constitui uma das vias que possibilita a compreensão e o entendimento do mundo, contribuindo para a formação de futuros cientistas. A experimentação não só exerce a função de instrumento para o desenvolvimento dessas competências, mas também de veículo legitimador do conhecimento científico, na medida em que os dados extraídos dos experimentos constituíam a palavra final sobre o entendimento do fenômeno em causa. Considerando que o tema água, compreende elemento do meio ambiente, e, portanto, faz parte do conhecimento a ser construído sobre várias áreas do currículo escolar, a atividade proposta tem como objetivo sugerir um *kit* didático pedagógico, com o intuito de instigar o aluno a compreender a importância da qualidade da água, bem como associar o processo de purificação da água com o ensino de ciências. Este material é destinado a professores da Educação Básica (Ensino Fundamental – Anos Finais), mas pode ser adaptado à outras esferas educacionais, dependendo da necessidade de cada professor.

PALAVRAS-CHAVE: Aprendizagem. Educação Básica. Experimentação.

THE TEACHING OF SCIENCES IN ELEMENTARY EDUCATION: EXPERIMENT FOR WATER PURIFICATION

ABSTRACT: Science Teaching allows the

introduction and exploration of information related to natural phenomena, health, technology, society and the environment, favoring the construction and expansion of new knowledge. Corroborating, Bizzo (2009) explains that Science Education is one of the ways that enables the understanding and understanding of the world, contributing to the formation of future scientists. Experimentation not only serves as an instrument for the development of these skills, but also as a legitimizing vehicle for scientific knowledge, insofar as the data extracted from the experiments constituted the final word on the understanding of the phenomenon in question. Considering that the water theme comprises an element of the environment, and, therefore, is part of the knowledge to be built on various areas of the school curriculum, the proposed activity aims to suggest a pedagogical teaching kit, in order to instigate the student to understand the importance of water quality, as well as associate the water purification process with science education. This material is intended for Basic Education teachers (Elementary School – Final Years), but can be adapted to other educational spheres, depending on the needs of each teacher.

KEYWORDS: Learning. Basic Education. Experimentation.

1 | INTRODUÇÃO

Muitos problemas de saúde ocorrem como consequência da desinformação da população sobre riscos de contaminação na água. A população, normalmente consome água sem saber sua procedência, o tipo de tratamento que passou e se sua potabilidade é confiável.

Nos últimos anos, têm sido desenvolvidas ações educativas de Educação Ambiental que promovem esclarecimento sobre padrões de qualidade da água distribuída para consumo humano, visto que a água destinada ao consumo humano deve ser tratada de modo que não ofereça riscos à saúde humana.

A Política Nacional de Educação Ambiental ressalta que a educação ambiental está presente nos processos em que o indivíduo e a coletividade constroem conhecimentos, habilidades, valores sociais, competências e atitudes em prol à conservação do meio ambiente, sendo primordial a qualidade de vida bem como a sustentabilidade. Pois é neste que, materializam-se as relações entre homem e natureza. Essa característica é fundamental para que a educação ambiental esteja no objeto de estudo das escolas e instituições, considerando todos seus aspectos, sendo incorporados junto às redes de relações socioeconômicas, culturais, políticas, ecológicas, estéticas e éticas (BRASIL, 1997).

Nesse sentido, a atividade proposta tem como objetivo sugerir um *kit* didático pedagógico, com o intuito de instigar o aluno a compreender a importância da qualidade da água, bem como associar o processo de purificação da água com o ensino de ciências.

Este material é destinado a professores da Educação Básica (Ensino Fundamental – Anos Finais), mas pode ser adaptado à outras esferas educacionais, dependendo da necessidade de cada professor.

2 | APORTE TEÓRICO

O ensino de ciências no Ensino Fundamental

Ensinar ciência de acordo com o modelo tradicional de ensino, onde o professor tem o papel de expor o conteúdo e o aluno a função de recebê-lo, não corresponde mais a expectativa dos alunos e da sociedade atual (CARVALHO, 2013), pois essa prática, muitas vezes, não colabora para estabelecer ao estudante uma relação entre o conhecimento adquirido e o seu cotidiano, reflexo de uma “educação bancária”, assim denominada por Freire e Shor (1986), em que o estudante não é incentivado, a desenvolver habilidades que envolvam a criatividade e a autonomia. O estudante participa com pouco ou praticamente nada, não compartilha seus saberes com os colegas, segue um padrão de conduta e precisa memorizar todas as informações recebidas, mesmo que sem significado para sua vida. Por isso, é preciso repensar a forma de ensinar deixando de priorizar a quantidade dos conteúdos e começar a valorizar a qualidade dos assuntos abordados em sala de aula (CARVALHO, 2013).

A alfabetização científica é fundamental para uma proposta de ensino que almeja a formação cidadã dos estudantes para a atuação na sociedade (CASTRO; MOTOKONE, 2017).

A educação científica, portanto, deverá garantir uma formação ampla, que abranja a construção de conhecimentos relacionados à funcionalidade processual e base conceitual de leis, teorias modelos e inovações em torno de fenômenos naturais e sociais; habilidades de associação, raciocínio lógico, questionamento e curiosidade epistemológica e posturas marcadas pela sensibilidade, crítica e autocrítica, ética e respeito a todas as formas de vida. Para Sessa (2019), para desenvolver a educação científica como princípio da formação integral do estudante, conforme a BNCC, a escola necessita oportunizar experiências que culminem na compreensão dos processos científicos, tornando os estudantes, protagonistas, capazes de se posicionem na resolução de problemas, amparados em evidências e dados científicos. A construção do pensamento científico, objeto da educação científica, representa uma ação processual, que deve acompanhar, de forma gradual e evolutiva, os estágios do desenvolvimento humano, impulsionando, portanto, a organização de esquemas mentais, que passem a se consolidar, em meio às oportunidades instigadoras promovidas pelo meio, bem como, em especial, pelo ambiente pedagógico.

Sobre o ambiente pedagógico, se dá, de forma metódica, o processo de alfabetização científica, compreendido como, segundo Chassot, (2003, p. 94):

[...] a alfabetização científica é o conjunto de conhecimentos que auxiliam os sujeitos a compreenderem o mundo em que se encontram inseridos. Além disso, de acordo com o autor, é necessário que os sujeitos não somente tenham “facilitada leitura do mundo em que vivem”, mas compreendam a necessidade de transformá-lo positivamente.

No que diz respeito ao Ensino de Ciências, segundo a Base Nacional Comum Curricular, na perspectiva de promover a alfabetização científica nos estudantes, a área de Ciências da Natureza, por meio de um olhar articulado de diversos campos do saber, precisa assegurar práticas e procedimentos da investigação científica (BRASIL, 2017), por isso, a atividade proposta envolve a prática de experimentos de filtração de água no qual os estudantes podem investigar a respeito de problemas da água, mas também, ter a oportunidade de conhecer procedimentos científicos pelos quais a ciência realiza grandes feitos.

Há uma abordagem de transversalidade sobre a indicação dos Temas Contemporâneos Transversais (TCT) em que, se propõe a construção de saberes e habilidades em torno de emergentes temáticas, que compõe as demandas sociais na atualidade. Assim, segundo os TCTs, existem múltiplas possibilidades didático pedagógicas e que podem integrar diferentes modos de organização curricular. Tais possibilidades envolvem, pois, três níveis de complexidade: intradisciplinar, interdisciplinar e transdisciplinar.

Na BNCC, os TCTs foram agrupados em seis macro áreas temáticas, dispostos na Figura 1:



Figura 1: Macro áreas temáticas dos TCT na BNCC.

Fonte: BNCC/TCT, 2018.

O tema água, compreende elemento do meio ambiente, e, portanto, compreende conhecimento a ser construído sobre várias áreas do currículo escolar.

A BNCC (BRASIL, 2017) indica, em seu texto original, a abordagem de conteúdos escolares, relacionados à água, em especial na área das Ciências da Natureza, quando aponta para os temas: Matéria e energia: propriedades físicas dos materiais, Ciclo hidrológico, Consumo consciente, Reciclagem. Matéria e energia: misturas homogêneas e heterogêneas. Separação de materiais, Materiais sintéticos: transformações químicas. Também, na área das Ciências Humanas, aponta para os temas: Natureza, ambientes e qualidade de vida, Qualidade ambiental, Diferentes tipos de poluição, Gestão pública da qualidade de vida, Natureza, ambientes e qualidade de vida, Biodiversidade, Ciclo hidrológico, Natureza, ambientes e qualidade de vida, Biodiversidade brasileira.

Estas áreas do conhecimento escolar poderão constituir espaço potencial para aprendizagens articuladas, promovendo a formulação de conceitos, desenvolvimento de habilidades e formação de atitudes, que contribuam com uma educação científica cidadã.

Em particular, as condições físico-químicas dos recursos hídricos na atualidade, tem se manifestado, por efeitos severos de impactos ambientais, direcionados por fatores antrópicos, diante de águas superficiais, como subterrâneas. As águas superficiais, segundo Soares (2015) podem ser definidas como aquelas, que não penetram no subsolo e correm ao longo da superfície do terreno, chegando, assim, aos lagos, rios e ribeirões.

Tucci (2005) se refere às águas urbanas, como as que englobam o sistema de abastecimento de água e esgotos sanitários, a drenagem urbana e as inundações ribeirinhas, a gestão dos sólidos totais, tendo como metas a saúde e conservação ambiental.

Os principais tipos de poluição hídrica superficial têm ocorrido por lançamento de efluentes industriais, agrícolas, comerciais, esgotos domésticos e resíduos sólidos diversos. Segundo a Resolução nº. 15, de 11 de janeiro de 2001 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, que estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas em seu artigo primeiro define os corpos d'água existentes: Art. 1º Para efeito desta resolução consideram-se, que Águas Subterrâneas, são as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo.

As principais fontes de contaminação das águas subterrâneas são: os lixões, aterros sanitários organizados de forma indevida, substâncias tóxicas lançadas de forma inadequada, mau uso e descarte de matérias-primas, lançamento de resíduos industriais, atividades mineradoras, vazamento das redes coletoras de esgoto, o uso indevido de agrotóxicos e fertilizantes e outras fontes poluidoras.

Portanto, ao longo do Ensino Fundamental, a área de Ciências da Natureza tem um compromisso com o desenvolvimento do letramento científico, que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências. Em outras palavras, apreender ciência não é a finalidade última do letramento, mas, sim, o desenvolvimento da capacidade de atuação no e sobre o mundo, importante ao exercício pleno da cidadania. Nessa perspectiva, a área de Ciências da Natureza, por meio de um olhar articulado de

diversos campos do saber, precisa assegurar aos alunos do Ensino Fundamental o acesso à diversidade de conhecimentos científicos produzidos ao longo da história, bem como a aproximação gradativa aos principais processos, práticas e procedimentos da investigação científica.

A purificação da água

A purificação da água é um conjunto de processos com o objetivo de remover substâncias químicas indesejáveis, microrganismos e sólidos em suspensão até níveis preestabelecidos.

A água para consumo humano (potável) já passa por tratamento e desinfecção em que são removidos matéria orgânica, bactérias patogênicas e outros contaminantes, mas para obter água purificada requer mais etapas e tecnologias mais sofisticadas cujo resultado será uma água com um maior grau de pureza. A água purificada pode ser utilizada para aplicações médicas, farmacológicas e industriais.

As etapas de purificação podem mudar de acordo com a finalidade que daremos à água. As etapas de purificação sugeridas a seguir são aplicáveis a águas utilizadas para preparação de medicamentos não estéreis, processos laboratoriais e para higiene de materiais médicos que utilizam água da rede pública para alimentar o processo.

O sistema deverá conter filtros de pré tratamento (multimídia, leite misto, carvão ativado, abrandador) e osmose reversa. O ideal é ter um sistema de recirculação constante, evitando que a água fique parada, além de lâmpadas UV no retorno do tanque.

A purificação da água remove as impurezas, como microrganismos e seus subprodutos, matéria orgânica e inorgânica, íons e partículas, que possam interferir nos procedimentos que se deseja realizar. Para tanto, são utilizados métodos físicos, químicos e biológicos de purificação, como destilação, filtração, micro e ultrafiltração, osmose reversa, deionização, eletrodeionização, adsorção e oxidação ultravioleta.

Na coagulação a água que está armazenada no recipiente recebe a adição de um sal chamado de sulfato de alumínio ou sulfato férrico. Esses compostos formam uma substância gelatinosa que favorece a formação de flocos (junção das impurezas na substância gelatinosa).

A decantação ocorre após a coagulação, na qual a água é direcionada para um novo recipiente, onde ela permanecerá em repouso para que os flocos formados sejam decantados para o fundo do tanque, haja vista que eles são mais densos que a água.

Na filtração, a água atravessa um sistema de filtros, utilizados para remover as impurezas que não ficaram retidas no fundo dos decantadores. Os filtros são formados por areia, carvão ativado e cascalho. Nessa etapa, as impurezas que não aderiram aos flocos ficam retidas no filtro, além de a água sofrer uma desodorização pela presença do carvão ativado.

O tipo de filtro mais usado consiste em camadas de areia de diferentes diâmetros.

Os filtros servem para reter as impurezas restantes, assim como bactérias e devem possuir dispositivos capazes de promover a lavagem da areia, quando ela fica muito suja. A filtração permite que a água se torne límpida, com sabor e odor mais agradáveis. Porém, não é suficiente para garantir a potabilidade da água, pois parte dos micróbios é capaz de ultrapassar as camadas de areia dos filtros.

A experimentação no Ensino de Ciências

Segundo a BNCC (2018),

[...] ao longo do Ensino Fundamental, a área de Ciências da Natureza tem um compromisso com o desenvolvimento do letramento científico, que envolve a capacidade de compreender e interpretar o mundo (natural, social e tecnológico), mas também de transformá-lo com base nos aportes teóricos e processuais das ciências. Em outras palavras, apreender ciência não é a finalidade última do letramento, mas, sim, o desenvolvimento da capacidade de atuação no e sobre o mundo, importante ao exercício pleno da cidadania. Nessa perspectiva, a área de Ciências da Natureza, por meio de um olhar articulado de diversos campos do saber, precisa assegurar aos alunos do Ensino Fundamental o acesso à diversidade de conhecimentos científicos produzidos ao longo da história, bem como a aproximação gradativa aos principais processos, práticas e procedimentos da investigação científica.

Muitas habilidades poderão estar sendo mobilizadas por atividades práticas de experimentação, entre os alunos, bem como a observação, a formulação de hipóteses, arguição, simulação, o estabelecimento de analogias, produção de contrapontos e conclusões. Estas habilidades vão dando forma à educação científica, impulsionadas pela curiosidade epistemológica, ingrediente motriz da aprendizagem significativa. Segundo Garcia (2020, p. 8),

[...] o termo que remete ao "significativo" na aprendizagem nasce, inicialmente, de um senso comum de que o que se aprende deve estar envolto por um valor intrínseco, com percepção de uma necessidade, visando a uma funcionalidade, unidade, aplicação, ampliação. Portanto pode-se entender que algo se torna significativo na aprendizagem, por meio, por exemplo, de seu uso, do seu domínio, criatividade, reapropriação, formas de expansão.

As atividades experimentais contribuem na formação de conceitos científicos e na compreensão da funcionalidade e processos de fenômenos submetidos a técnicas de iniciação científica.

Entende-se por atividade experimental toda atividade prática cujo objetivo inicial é a observação seguida da demonstração ou da manipulação, utilizando-se de recursos como vidrarias, reagente, instrumentos e equipamentos ou de materiais alternativos, a depender do tipo de atividade e do espaço pedagógico planejado para sua realização (PARANÁ, 2008, p. 71).

Esta atividade pedagógica, como uma prática de alfabetização científica coloca em relação dialógica, professor, aluno e conhecimento, sobre ambiência de descoberta e inventividade, construindo essenciais e preliminares sentidos à consciência social, tendo

como objeto de estudo, questões do cotidiano e, com vista à busca de soluções possíveis.

A experimentação em ambiente educativo conduz à operacionalização de etapas do método científico, em tradução didática para a prática pedagógica escolar, destacando os momentos de observação, levantamento de questões ao estudo investigativo, levantamento de hipóteses, experimentação (propriamente dita), análise, sistematização de resultados e elaboração de conclusões.

3 | ASPECTOS METODOLÓGICOS

O quadro 1 descreve as orientações gerais para o *kit* didático pedagógico, denominado Filtração de água.

Nome do <i>kit</i> didático pedagógico	Filtração de água
Público-alvo	Alunos do 6º e 7º ano do Ensino Fundamental.
Objetivos do <i>kit</i> didático pedagógico	Compreender a importância da qualidade da água. Experenciar o processo de purificação da água. Associar o processo de purificação da água com o ensino de ciências.
Materiais / Reagentes	Bécher 1000 mL Bastão de vidro Tubo de filtração Filtro de papel com porosidade menor que 0,05 mm Algodão Carvão ativado Silte Areia fina (0,2 mm) Areia grossa (2 mm)
Metodologia	<i>Coagulação e floculação.</i> Colocar a amostra de 500 mL de água suja em um bécher grande (750 mL). Adicionar uma espátula de sulfato de alumínio. Agitar com bastão de vidro. Deixar decantar por 24 horas. Retirar o líquido. Filtrar no sistema de filtração. <i>Sistema de filtração:</i> Colocar no tubo de filtração as seguintes camadas: a) Filtro de papel com porosidade menor que 0,05 mm b) Algodão c) Carvão ativado d) Filtro de papel e) Silte f) Filtro de papel g) Areia fina (0,2 mm) h) Filtro de papel i) Areia grossa (2 mm) j) Filtro de papel Verter o líquido retirado do processo de coagulação no filtro, lentamente. Retirar a água filtrada e armazenar. Não ingerir.

Instruções de uso	Sugere-se o desenvolvimento da atividade experimental somente com auxílio do professor regente da turma.
-------------------	--

Quadro 1: Orientações gerais do *kit* didático pedagógico - Filtração de água.

Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Manual Green Technology Diy e Nova Escola, 2019.

A figura 1 ilustra um esboço do filtro a ser produzido no experimento denominado Filtração de água.

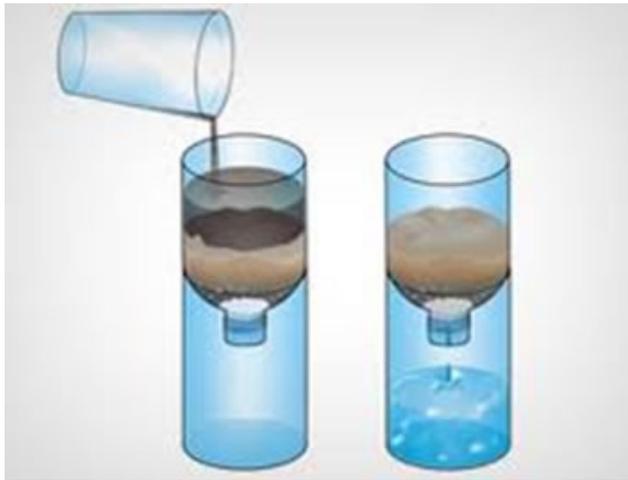


Figura 1: Esboço do filtro a ser produzido.

Fonte: <https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/filtro-agua.htm>.

Cada camada do filtro é responsável por retirar um dos elementos que estão poluindo a água. A areia serve de barreira física às partículas de terra misturadas na água e aos pequenos objetos. Já o carvão filtra os poluentes químicos – invisíveis a olho nu – como metais dissolvidos na água, pesticidas e outros. O algodão também serve para reter partículas maiores. Quanto maior forem as camadas do seu filtro, mais transparente a água sairá pela parte de baixo.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso racional e a conservação da água necessitam antes de tudo de um processo de conscientização e de reflexão por parte da sociedade que, por ser ainda incipiente, exige que a escola exerça realmente o seu papel de mediador cultural.

Todos nós sabemos que a água é uma substância primordial para a manutenção da vida. Todavia, para que ela seja consumida por nós, é necessário que ela seja potável, isto é, apresente as seguintes características: ausência de impurezas; presença de sais minerais; ausência de micro-organismos; presença de flúor.

As aulas de Ciências, no ensino fundamental, ainda são desenvolvidas, em muitas escolas, por meio de atividades em que a parte conceitual é ministrada por meio da repetição, fragmentação e esvaziamento do caráter social (MALDANER, 2010). O ensino de Ciências desenvolvido desse modo passa a ser desinteressante para a maioria dos estudantes.

Para a aprendizagem, percebe-se a necessidade de que a construção do conhecimento ocorra por meio do cotidiano do estudante, e que a utilização de metodologias diferenciadas pode auxiliar neste processo, ao potencializar a ação protagonista do estudante e na sua metacognição.

Portando a atividade proposta, sugere a elaboração de um *kit* didático pedagógico, denominado “Filtração de água”, que propõe uma prática de experimentos de filtração de água no qual os estudantes podem investigar a respeito de problemas da água, mas também ter a oportunidade de conhecer procedimentos científicos, com o intuito de instigar os envolvidos no processo, a compreender a importância da qualidade da água, bem como associar o processo de purificação da água com o ensino de ciências.

Dessa forma, essa abordagem busca pela melhoria da aprendizagem, em função de que o estudante está envolvido no processo realizando a experiência. Ao contextualizar o que é ensinado em sala de aula juntamente com os temas contemporâneos e transversais, espera-se aumentar o interesse dos estudantes durante o processo e despertar a relevância desses temas no seu desenvolvimento como cidadão. O maior objetivo dessa abordagem é o desenvolvimento integral do estudante ao término da sua educação formal reconhecendo e aprendendo sobre os temas que são relevantes para sua atuação na sociedade. Assim, espera-se que o estudante compreenda questões diversas, tais como cuidar do planeta, a partir do território em que vive; administrar o seu dinheiro; cuidar de sua saúde; usar as diferenciadas tecnologias digitais; entender e respeitar aqueles que são diferentes e quais são seus direitos e deveres como cidadão, contribuindo para a formação integral do estudante como ser humano, sendo essa uma das funções sociais da escola.

REFERÊNCIAS

BIZZO, Nelio. **Ciências: fácil ou difícil?** São Paulo: Biruta, 2009. 158 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente /**Conselho Nacional de Recursos Hídricos**: Conjunto de leis e normas. Disponível em: <https://cnrh.mdr.gov.br/>. Acesso em 18 de junho de 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Decreto Presidencial nº 5.440, de 4 de maio de 2005**. Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, nº 3, de 4 de janeiro de 2012.

CASTRO, R.F.; MOTOKANE, M.T. A alfabetização científica e o ensino por investigação como pressupostos teóricos metodológicos para a elaboração de uma sequência didática investigativa sobre biodiversidade. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 11, 2017. Santa Catarina. Anais. Florianópolis: **Alfabetização científica e tecnológica**, 2017. P. 1-10.

CHASSOT, A. I. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, São Paulo, v. 23, n. 22, p. 89-100, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbedu/n22/n22a09.pdf>> Acesso em: 31 de julho de 2021.

FREIRE, Paulo; SHOR, Ira. **Medo e ousadia**: o cotidiano do professor. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1986.

GARCIA, Marilene. S. S. **Aprendizagem significativa e colaborativa**. Curitiba: Contentus, 2020.

MALDANER, O. A.; SANTOS, L. P. **Ensino de química em foco**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2010.

NOVA ESCOLA. **Métodos para tornar a água potável**. Disponível em: <https://novaescola.org.br/>. Acesso em: 15 de julho de 2021.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação do Paraná. Superintendência da Educação. **Diretrizes Curriculares de Ciências para o Ensino Fundamental**. Curitiba – PR, 2008. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/diretrizes/dce_cien.pdf. Acesso em 04 de agosto de 2021.

TUCCI, C. E. M. **Programa de drenagem sustentável**: apoio ao desenvolvimento do manejo das águas pluviais urbanas - Versão 2.0. Brasília: Ministério das Cidades, 2005a.

SESSA, Patrícia. BNCC e o ensino de ciências no contexto da sala de aula. In: **Educação é a base?** 23 educadores discutem a BNCC. CÁSSIO, Fernando e CASTELLI, Roberto (Org.). São Paulo: Ação Educativa, 2019.

SOARES, S. A. **A gestão de recursos hídricos**. Curitiba: Inter Saberes, 2015.

PRODUÇÃO DE MEMBRANAS DE CELULOSE BACTERIANA A PARTIR DE DIFERENTES SUBSTRATOS EM CULTURA ESTÁTICA: UMA REVISÃO

Data de aceite: 01/11/2021

Data de submissão: 06/08/2021

Eduarda Zeni Neves

Universidade da Região de Joinville –
UNIVILLE, Mestrado em Engenharia de
Processos (MEP)
Joinville – SC
orcid.org/0000-0001-9913-791X

Bruna Segat

Universidade da Região de Joinville -
UNIVILLE, Departamento de Engenharia
Química
Joinville – SC
orcid.org/0000-0001-8998-1850

Geasi Lucas Martins

Universidade da Região de Joinville -
UNIVILLE, Departamento de Engenharia
Química
Joinville – SC
orcid.org/0000-0003-4068-7110

Michele Cristina Formolo Garcia

Universidade da Região de Joinville -
UNIVILLE, Departamento de Engenharia
Química
Joinville – SC
orcid.org/0000-0002-6899-1264

Giannini Pasiznick Apati

Universidade da Região de Joinville -
UNIVILLE, Departamento de Engenharia
Química
Joinville – SC
orcid.org/0000-0003-4893-6193

Andrea Lima dos Santos Schneider

Universidade da Região de Joinville –
UNIVILLE, Mestrado em Saúde e Meio
Ambiente (MSMA)
Joinville – SC
orcid.org/0000-0002-2043-0177

Ana Paula Testa Pezzin

Universidade da Região de Joinville –
UNIVILLE, Mestrado em Engenharia de
Processos (MEP)
Joinville – SC
orcid.org/0000-0001-9343-3929

RESUMO: A celulose bacteriana (CB) é um biopolímero renovável que possui a mesma estrutura química da celulose vegetal (CV), entretanto, diferencia-se por apresentar fibras de carácter nanométrico e não apresentar impurezas, como lignina e hemicelulose, as quais são difíceis de serem removidas. Além disso, a CB possui maior cristalinidade, maior capacidade de absorção de água, melhor biodegradabilidade e biocompatibilidade. Devido a tais características, a CB possui grande potencial para substituição da CV e pode ser aplicada em diversos segmentos, como na produção de papel, na área farmacêutica e de biomedicina. Entretanto, apesar de possuir vastas aplicações, sua utilização industrial ainda é limitada e enfrenta diversos impasses. Um dos maiores desafios para viabilizar seu uso industrial está em produzir a CB em larga escala com tempo reduzido e maior rendimento, de modo a suprir a demanda industrial. Sendo assim, destaca-se a importância de realizar estudos que otimizem a produção da CB e aumentem seu rendimento.

Para tanto, faz-se necessário estudar diferentes meios de cultivos, com diferentes fontes de carbono e nitrogênio que, quando combinadas com as condições de crescimento apropriadas, aumentem a produtividade da CB. Dessa forma, este artigo é uma revisão de literatura que apresenta uma visão geral sobre a produção da membrana de CB com diferentes substratos, dando ênfase para a síntese de CB pela bactéria *Komagataeibacter hansenii* ATCC 23769 em cultivo estático.

PALAVRAS-CHAVE: Celulose Bacteriana. *Komagataeibacter hansenii*. Utilização Industrial. Fontes nutricionais. Produção.

PRODUCTION OF BACTERIAL CELLULOSE MEMBRANES FROM DIFFERENT SUBSTRATES IN STATIC CULTURE: A REVIEW

ABSTRACT: The bacterial cellulose (BC) is a renewable biopolymer that has the same chemical structure as vegetable cellulose (VC), however, it differs because it presents nanometric fibers and does not present impurities, such as lignin and hemicellulose, which are difficult to be removed. Furthermore, a BC has greater crystallinity, greater water absorption capacity, better biodegradability and biocompatibility. Due to these characteristics, BC has great potential to replace VC and can be applied in several segments, such as in paper production, in the pharmaceutical and biomedical areas. However, despite having vast applications, its industrial use is still limited and faces several impasses. One of the biggest challenges to have viable industrial use is to produce BC on a large scale with reduced time and higher performance, in order to supply industrial demand. Thus, the importance of carrying out studies that optimize the production of BC and increase its performance is highlighted. Therefore, it is necessary to study different forms of cultivation, carbon and nitrogen sources that, when combined with appropriate growth conditions, increase BC productivity. Thus, this article is a literature review that presents an overview of the production of the BC membrane with different substrates, emphasizing the BC synthesis by the bacterium *Komagataeibacter hansenii* ATCC 23769 in static culture.

KEYWORDS: Bacterial Cellulose. Industrial Use. *Komagataeibacter hansenii*. Nutritional sources. Production.

1 | INTRODUÇÃO

O crescente interesse no desenvolvimento sustentável combinado com a necessidade de produzir materiais a partir de fontes renováveis, impulsionou o estudo dos biopolímeros. Biopolímeros são polímeros naturais sintetizados por seres vivos ou obtidos a partir de matérias-primas provenientes de fontes renováveis, são considerados potenciais substitutos dos polímeros petroquímicos. Além disso, apresentam vantagens como biodegradabilidade, não toxicidade, biocompatibilidade, menor antigenicidade e serem renováveis (SAHANA; REKHA, 2018). Dentre os biopolímeros mais promissores atualmente, destaca-se a celulose bacteriana, também conhecida como (CB).

A CB consiste em um filme translúcido e gelatinoso, formado por microfibrilas de celulose entrelaçadas, sintetizada por vários gêneros de bactérias como a *Agrobacterium*,

Pseudomonas e Komagataeibacter (PORTELA et al., 2019; RAGHAVENDRAN; ASARE; ROY, 2020). Além disso, é um biomaterial que ganhou atenção por possuir boas propriedades e uma natureza que permite modificações desejada, podendo ser aplicada em diversos segmentos (HUSSAIN et al., 2019).

Apesar da CB ser considerada uma alternativa ideal para substituir a celulose vegetal e ter um mercado potencial, o seu alto custo e o tempo de produção ainda são fatores limitantes, por isso muitos pesquisadores tem concentrado esforços na viabilização da sua produção buscando melhores condições de cultivo, meios de cultivos alternativos, avaliando matérias-primas de fontes alternativas ou reaproveitáveis, tais como a utilização de resíduos agroindustriais ou opções comerciais com custos mais baixos (CACICEDO et al., 2016; TSOUKO et al., 2015; UL-ISLAM et al., 2017), com o objetivo de ampliar a escala de produção de modo a suprir a demanda industrial.

Dessa forma, este estudo teve como objetivo apresentar o cenário geral sobre a produção da celulose bacteriana em meios de cultivos com diferentes fontes de nutrientes, dando ênfase para a síntese da CB pela bactéria *Komagataeibacter hansenii* ATCC 23769 em cultivo estático.

2 | CELULOSE BACTERIANA (CB)

Apesar de as plantas serem as maiores fontes de celulose, alguns micro-organismos, também apresentam a capacidade de produção de celulose como fonte alternativa (KLEMM et al., 2018; MONA et al., 2019). A obtenção da celulose a partir de bactérias, destaca-se por ser uma alternativa mais sustentável, de modo que reduz os impactos ambientais, principalmente relacionado ao desmatamento (DAYAL et al., 2013). Essa classe de celulose é denominada celulose bacteriana (MOHITE; PATIL, 2014).

Com estrutura constituída por repetidas moléculas de β -D-glicopiranosose unidas em cadeias longas, não ramificadas, por ligações glicosídicas β -(1 \square 4) (KAYRA; AYTEKIN, 2019; KLEMM et al., 2005), além de pontes de hidrogênio intra e intermoleculares, promovendo sua resistência mecânica, tornando a celulose insolúvel em água e na maioria dos solventes orgânicos (CHEN et al., 2015; DONINI et al., 2010; KAYRA; AYTEKIN, 2019) e diversas hidroxilas em sua superfície conferindo-lhe alta hidrofiliçidade e capacidade de modificação química (ESA; TASIRIN; RAHMAN, 2014).

Além de ser biodegradável, atóxica e biocompatível, uma das grandes vantagens da CB é sua pureza, pois esta permite sua utilização direta (AMORIM et al., 2020; PORTELA et al., 2019). Além disso, as membranas de CB apresentam boas propriedades mecânicas, altos níveis de cristalinidade, alta capacidade de retenção de água e excelente biocompatibilidade (PORTELA et al., 2019). Considerando tais propriedades, as membranas vêm se mostrando como um material multifuncional extremamente útil para diversas aplicações e com grande ascendência no mercado.

Entretanto, ainda é desafiador encontrar caminhos para a produção bem-sucedida das membranas de CB em escala industrial, de modo que todo o seu potencial possa ser explorado em diferentes aplicações (SHARMA; BHARDWAJ, 2019; TSOUKO et al., 2015). Desse modo, percebe-se a necessidade de estudar e otimizar a produção em termos de gerar maior quantidade de celulose em menos tempo e que seja viável economicamente. Para isso, é necessário conhecer os fatores que influenciam a produção das membranas de CB, como os micro-organismos produtores, as condições de cultivo e as condições nutricionais.

3 I PRODUÇÃO DAS MEMBRANAS DE CELULOSE BACTERIANA

3.1 Micro-organismos produtores de celulose bacteriana

Várias bactérias são capazes de sintetizar a CB, como *Komagataeibacter*, *Aerobacter*, *Agrobacterium*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Azotobacter*, *Rhizobium*, *Sarcina* e *Salmonella*, dentre estas, as bactérias do gênero *Komagataeibacter* têm sido amplamente citadas em estudos de produção e considerado modelo para interesses industriais (RANGASWAMY; VANITHA; HUNGUND, 2015). Esse gênero recebeu esse nome em homenagem ao microbiologista japonês, Prof. Kazuo Komagata, por sua contribuição sobre as bactérias do ácido acético (RYNGAJŁŁO et al., 2019).

As espécies do gênero *Komagataeibacter* como a *K. xylinus* e *K. hansenii* são os produtores mais eficientes de celulose em comparação com outras cepas (RANGASWAMY; VANITHA; HUNGUND, 2015). A *K. hansenii* é uma bactéria gram-negativa, estritamente aeróbica, não-patogênica, comumente encontradas na superfície de frutas e vegetais em decomposição, no vinagre e em bebidas alcoólicas (CACICEDO et al., 2016; LYNCH et al., 2019). A espécie *K. hansenii* apresenta-se como bastonetes retos ou ligeiramente curvos, alongados variando de 0,6 a 0,8 x 10⁻⁴ μm, podendo ser ou não móveis, a faixa de temperatura para crescimento fica entre 15 e 34 °C, e temperatura para inativação entre 65 e 70 °C (KLEMM et al., 2005).

Quando produzidas em condições estáticas, as microfibrilas de celulose são expelidas e formam uma película na superfície, além disso, a necessidade de oxigênio faz com que as bactérias se movam para a superfície onde ocorre o crescimento e a síntese de polímero (CACICEDO et al., 2016; RAGHAVENDRAN; ASARE; ROY, 2020). As bactérias desse gênero convertem etanol a ácido acético, logo, apresentam uma alta capacidade de tolerância a substância ácidas e são capazes de converter várias fontes de carbono e nitrogênio em celulose, mas o seu mecanismo de síntese ainda não foi completamente elucidado, porém, acredita-se que seja semelhante ao da *K. xylinus*, que começa sempre com o precursor de UDP-glicose e termina formando uma cadeia polissacarídica (CACICEDO et al., 2016; RANGASWAMY; VANITHA; HUNGUND, 2015).

3.2 Metabolismo

O processo de síntese da CB pode ser resumido em três etapas principais: Formação das cadeias β -(1→4) advindas da fonte de carbono; secreção extracelular das cadeias lineares; e organização e cristalização das cadeias de glucanas, por meio de ligações de hidrogênio e forças de Van der Waals dispostas hierarquicamente em tiras (DONINI et al., 2010).

A bactéria *K. xylinus* opera no ciclo da pentose-fosfato (hexoses) e no ciclo de Krebs juntamente com a gliconeogênese e tem a capacidade de metabolizar uma variedade de substratos carbônicos para a biossíntese de celulose, porém, dependendo da fonte de carbono utilizada o micro-organismo segue vias metabólicas distintas para a produção da CB (JOZALA et al., 2016; MONA et al., 2019).

No caso da glicose como fonte de carbono, a bactéria oxida a glicose diretamente na forma de ácido glucônico (gluconato) e como resultado ocorre a diminuição do pH da cultura e da produção da celulose, a explicação para isso é que a glicose é consumida mais rapidamente se comparada a outras fontes de carbono, portanto, a bactéria converte a glicose em ácido glucônico, o qual se acumula no sistema e em excesso causa a diminuição do pH e a produção da CB é prejudicada (CHEN et al., 2019; GULLO et al., 2017).

Em presença de frutose como fonte de carbono, a biossíntese depende de duas vias, a via das pentoses. Dessa forma, a frutose é diretamente metabolizada e transformada em frutose-6-fosfato e, posteriormente, é isomerizada para glicose-6-fosfato pela enzima fosfoglicose isomerase e a partir desse ponto a via metabólica para produção de CB segue o mesmo caminho da síntese do biopolímero utilizando de glicose (CHAGAS, 2018).

Na produção da CB a partir de dissacarídeos, (sacarose, lactose, maltose e ribose), a biossíntese do biomaterial inicia-se no periplasma da célula com a hidrólise dos dissacarídeos em monossacarídeos, como frutose e glicose (LEE et al., 2014).

Durante o cultivo estático a membrana formada na interface ar/líquido permite as bactérias aeróbicas moverem-se para a superfície possibilitando obter oxigênio com maior facilidade para seu crescimento (CACICEDO et al., 2016; DONINI et al., 2010). Além disso, esse mecanismo de flotação previne a desidratação do substrato, serve como proteção contra a luz ultravioleta e atua como uma barreira contra o crescimento de outros micro-organismos (DONINI et al., 2010; PORTELA et al., 2019).

3.3 Condições Nutricionais

Na produção de CB os micro-organismos são inoculados em meios nutrientes convencionais que possuem a função de simular o seu *habitat*, portanto, devem conter fontes de carbono, nitrogênio, sais inorgânicos, e, se necessário, outros nutrientes orgânicos tais como aminoácidos, vitaminas e outros necessários para o crescimento microbiano (IGUCHI et al., 1988). Como meio padrão para o cultivo da CB, têm-se o

meio Hestrin-Schramm (HS), porém, esse meio apresenta um custo elevado em virtude da suplementação de glicose ou manitol, extrato de levedura e peptona como substratos de maiores custos e, portanto, torna-se inadequado para ser usado na produção da CB industrialmente (ABDELRAOF; HASANIN; EL-SAIED, 2019; HESTRIN; SCHRAMM, 1954).

Por esse motivo, são encontrados diversos trabalhos na literatura para que descrevem a produção de CB com diversos substratos visando diminuir o custo de produção e aumentar a quantidade de celulose gerada pelas bactérias, tais estudos são importantes pois visam viabilizar a produção da CB em uma escala significativa para transformar o seu uso industrial viável nos diferentes campos do conhecimento de aplicação, uma vez que o custo de produção associado ao substrato representa até 65% do custo total do cultivo microbiano (ABDELRAOF; HASANIN; EL-SAIED, 2019; TSOUKO et al., 2015). Logo, o meio de cultura é o fator mais importante para o custo total de produção da CB, em especial a fonte de carbono (JOZALA et al., 2016).

Nesse sentido, as bactérias acéticas do gênero *Komagataeibacter* produzem CB utilizando a glicose como fonte tradicional de carbono, porém, esse substrato pode ser substituído por fontes alternativas como etanol, n-butano, manitol, glicerol, lactato, frutose, sacarose, maltose, xilose, melaços, entre outros, tendo em vista que não hidrolisam o amido nem a lactose e são quimiorganotróficas (JOZALA et al., 2016).

O nitrogênio por sua vez é um componente principal, muito importante no metabolismo celular, e compreende entre 8 e 14% da massa celular seca de bactérias, além de fornecer aminoácidos, vitaminas e sais minerais para o micro-organismo (CAMPANO et al., 2016). Como fontes de nitrogênio destacam-se sais de amônio, sulfato de amônio, cloreto de amônio, fosfato de amônio, nitratos, ureia, peptona, extrato de levedura ou semelhantes (IGUCHI et al., 1988). O extrato de levedura e a peptona são os componentes básicos para o meio HS e são as fontes de melhor assimilação no metabolismo da *Komagataeibacter sp.* (CAMPANO et al., 2016).

Os sais inorgânicos como fosfatos, sais de magnésio, sais de cálcio, sais de ferro, sais de manganês, podem ser adicionados. Como nutrientes orgânicos se tem os aminoácidos, vitaminas, ácidos graxos, ácidos nucléicos, extratos de leveduras, e proteína de soja hidrolisada (IGUCHI et al., 1988).

Outro ponto importante na produção do meio de cultivo é, se esses substratos para fornecer os nutrientes para a bactéria, é se esses substratos são bem assimilados por determinada cepa a fim de conseguir converter o máximo de CB e o mínimo de produtos secundários, como os ácidos orgânicos, que diminuem o pH do meio de cultivo durante a produção da CB e reduzem o rendimento da celulose (ULLAH et al., 2016).

Além disso, a otimização da síntese de CB para aplicações industriais requer primeiro a produção em pequena escala com protocolos aprimorados para conseguir atingir uma quantidade de celulose superior (UL-ISLAM et al., 2017). Logo diversas fontes de carbono (monossacarídeos, dissacarídeos e polissacarídeos) e nitrogênio (orgânico e inorgânico)

foram avaliados para a produção da CB por *K. hansenii* (ATCC 23769) em meio de cultivo estático na literatura e são apresentadas no Quadro 1.

Entre os estudos apresentados no Quadro 1, observou-se que manitol/ lactose/ melaço cinto preta foram as melhores fontes de carbono, quanto extrato de levedura/ Prodex Lac® foram as melhores fontes de nitrogênio para a produção da CB. Quando se analisa essas fontes de carbono, os substratos de grau analítico que se destacaram para a produção da CB foram o manitol e a lactose. A melhora na produção da CB a partir do manitol se dá em função do fluxo metabólico para a produção do ácido glucônico como subproduto nesta via ser baixo comparado com a fonte tradicional (glicose), esse fato é evidenciado na resposta negativa na produção da CB a partir da glicose mostrada no Quadro 1 (GULLO et al., 2019; JONAS; FARAH, 1998).

Fonte de Carbono	Suplementação	pH	Temperatura	Dias de Cultivo	Produção (g/L)	Literatura
Extrato de açúcares da madeira extraídos com água quente	-	8,0	28	10	0,15	Kiziltas et al (2015)
Glicose, Sacarose e Frutose	Extrato de levedura e Peptona de caseína	5,0	30	7	0,9	Lima et al (2017)
Líquido de Sisal	Extrato de levedura	5,0	30	7	2,2	Lima et al (2017)
Melaço cinto preta	-	6,0	30	9	2,9	Khattak et al (2015)
Melaço da cervejaria	-	6,0	30	9	1,74	Khattak et al (2015)
Lactose	Prodex Lac®	-	30	12	5,6	Tureck (2017)
-	Suco de cenoura	-	30	14	1,35	Gunduz e Asik (2018)
Manitol e Etanol	Extrato de levedura	7,0	26,3	12	2,85	Farrag et al (2019)

Quadro 1 – Produção de celulose bacteriana a partir de *K. hansenii* (ATCC 23769) utilizando diferentes fontes nutricionais em cultivo estático.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Dentre todos os estudos encontrados na literatura utilizando a *K. hansenii* (ATCC 23769) com o uso de nutrientes alternativos, o trabalho de Turek (2017) apresentou a maior produção de CB, a autora explicou que a lactose juntamente com a fonte de nitrogênio (Prodex Lac®) tiveram efeitos sinérgicos, demonstrando que a combinação desses dois substratos tem efeitos positivo na produção da CB, porém, ainda não está claro qual o papel deles no metabolismo da *K. hansenii*. Já o destaque do extrato de levedura na produção da CB foi atribuído ao seu conteúdo de nitrogênio e fatores de crescimento (CAMPANO et al., 2016).

Dessa forma, diante de todos os fatos mencionados, a busca pela otimização nas condições de cultivo se torna essencial, visto que esta influencia diretamente no custo e rendimento da CB (SHARMA; BHARDWAJ, 2019; TSOUKO et al., 2015). A determinação de um meio ideal e de um conjunto apropriado de condições de crescimento que permita altos níveis de produção de CB é importante para a viabilidade da ampliação dessa tecnologia para uma aplicação industrial (RUKA; SIMON; DEAN, 2012). Porém, essa determinação deve ser cuidadosamente calculada antes da produção em massa de CB (RUKA; SIMON; DEAN, 2012).

Assim, o estudo do uso de substratos alternativos, além dos tradicionais, visando encontrar novos substratos que contribuam para a redução do custo final desse polímero é de fundamental importância para obter uma produção viável da CB industrialmente para a sua disseminação em diversas aplicações tecnológicas e inovadoras.

3.4 Condições de cultivo

A literatura apresenta diferentes estratégias para a produção de CB (CAMPANO et al., 2016; TSOUKO et al., 2015). A produção e as propriedades (em especial a porosidade) da CB podem ser afetadas por algumas condições de cultivo, como pH, temperatura, tempo de cultivo, cepa utilizada, tipo de cultivo (estático ou agitado), proporção de inóculo, volume/concentração de inóculo, fontes de nutrientes e disponibilidade de oxigênio são fundamentais para obter propriedades reprodutíveis do polímero (BASU; VADANAN; LIM, 2019; KLEMM et al., 2018).

A faixa de pH onde ocorre a produção da celulose é entre 4,5 e 7,5, em pH menores que 3,5 a CB é inibida e o intervalo que o pH é ótimo para produção da CB fica na faixa de 6,5 (JUNG et al., 2010). Já a temperatura que favorece a produção da celulose é na faixa de 28 e 30 °C, com a produção ótima em 30 °C e valores acima de 35 °C reduzem a produção da CB (RANGASWAMY; VANITHA; HUNGUND, 2015; VELÁSQUEZ-RIAÑO; BOJACÁ, 2017).

A sua produção pode ser obtida em laboratório utilizando cultivos tanto em meios sólido ou líquido, como em condições estática ou agitada (DONINI et al., 2010; RUKA; SIMON; DEAN, 2012; YAMADA). Na cultura estacionária, o resultado é acumulação de uma membrana gelatinosa e homogênea de celulose sobre a superfície do meio; enquanto na cultura agitada, a celulose sintetizada surge sob a forma de suspensões ou esferas fibrosas irregulares (BRANDES et al., 2017; RECOUVREUX et al., 2011).

Entre as propriedades físicas obtidas na condição estática, se tem uma membrana com estrutura mais cristalina e de alta qualidade, porém demanda um tempo maior de cultivo (SHARMA; BHARDWAJ, 2019). Enquanto, o cultivo sob agitação pode afetar algumas propriedades da CB como resistência mecânica, grau de polimerização, índice de cristalinidade e módulo de elasticidade (BRANDES et al., 2017).

Dessa forma, a escolha pelo tipo de cultivo irá refletir nas propriedades físicas,

mecânicas e morfológicas de celulose obtida, portanto, a escolha ideal dependerá da aplicabilidade final desejada (CACICEDO et al., 2016; JOZALA et al., 2016).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A celulose bacteriana vem se destacando como um biopolímero altamente promissor por suas diversas propriedades que permitem uma ampla gama de aplicações. Além disso, sua produção e obtenção são ambientalmente amigáveis. Considerando o cenário apresentado neste estudo, a otimização da produção da CB utilizando meios de cultivo alternativos é possível, bem como reduzir os custos, favorecendo a aplicabilidade para uma escala industrial, já que otimização e redução de custos são pré-requisitos tecnológicos a serem adotados em larga escala.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES (Código de financiamento 001) e Fundo de Amparo à Pesquisa da Univille (FAP-UNIVILLE) pelas bolsas de estudo de Mestrado e Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS

ABDELRAOF, M.; HASANIN, M. S.; EL-SAIED, H. Ecofriendly green conversion of potato peel wastes to high productivity bacterial cellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 211, p. 75–83, 2019.

AMORIM, J. D. P.; SOUZA, K. C.; DUARTE, C. R.; DUARTE, I. S.; RIBEIRO, F. A. S.; SILVA, G. S.; FARIAS, P. M. A.; STINGL, A.; COSTA, A. F. S.; VINHAS, G. M.; SARUBBO, L. A. Plant and bacterial nanocellulose: production, properties and applications in medicine, food, cosmetics, electronics and engineering. A review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 18, n. 3, p. 851–869, 2020.

BASU, A.; VADANAN, S. V.; LIM, S. Rational design of a scalable bioprocess platform for bacterial cellulose production. **Carbohydrate Polymers**, v. 207, p. 684–693, 2019.

BRANDES, R.; CARMINATTI, C.; MIKOWSKI, A.; AL-QURESHI, H.; RECOUVREUX, D. A Mini-Review on the Progress of Spherical Bacterial Cellulose Production. **Journal of Nano Research**, v. 45, p. 142–154, 2017.

CACICEDO, M. L.; CASTRO, M. C.; SERVETAS, I.; BOSNEA, L.; BOURA, K.; TSAFRAKIDOU, P.; DIMA, A.; TERPOU, A.; KOUTINAS, A.; CASTRO, G. R. Progress in bacterial cellulose matrices for biotechnological applications. **Bioresource Technology**, v. 213, p. 172–180, 2016.

CAMPANO, C.; BALEA, A.; BLANCO, A.; NEGRO, C. Enhancement of the fermentation process and properties of bacterial cellulose: a review. **Cellulose**, v. 23, n. 1, p. 57–91, 2016.

CHAGAS, B. S. **PRODUÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA EM MEIO À BASE DE MELAÇO DE SOJA EM CULTIVO ESTÁTICO**. 2018. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2018.

- CHEN, G.; WU, G.; CHEN, L.; WANG, W.; HONG, F. F.; JÖNSSON, L. J. Performance of nanocellulose-producing bacterial strains in static and agitated cultures with different starting pH. **Carbohydrate Polymers**, v. 215, p. 280–288, 2019.
- CHEN, X.; CHEN, J.; YOU, T.; WANG, K.; XU, F. Effects of polymorphs on dissolution of cellulose in NaOH/urea aqueous solution. **Carbohydrate Polymers**, v. 125, p. 85–91, 2015.
- DAYAL, M. S.; GOSWAMI, N.; SAHAI, A.; JAIN, V.; MATHUR, G.; MATHUR, A. Effect of media components on cell growth and bacterial cellulose production from *Acetobacter acetii* MTCC 2623. **Carbohydrate Polymers**, v. 94, n. 1, p. 12–16, 2013.
- DONINI, Í. a N.; SALVI, D. T. B. De; FUKUMOTO, F. K.; LUSTRI, W. R.; BARUD, H. S.; MARCHETTO, R.; MESSADDEQ, Y.; RIBEIRO, S. J. L. Biossíntese e recentes avanços na produção de celulose bacteriana. **Eclética Química**, v. 35, n. 4, p. 165–178, 2010.
- ESA, F.; TASIRIN, S. M.; RAHMAN, N. A. Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 2, p. 113–119, 2014.
- FARRAG, A. A.; SALEH, A. K.; SOLIMAN, N. A.; IBRAHIM, M. M.; EL-SHINNAWY, N. A.; ABDEL-FATTAH, Y. R. Biocellulose Production by *Gluconacetobacter hansenii* ATCC 23769: Application of Statistical Experimental Designs and Cellulose Membrane Characterization. **Egyptian Journal of Chemistry**, v. 62, n. 11, p. 2077–2092, 2019.
- GULLO, M.; LA CHINA, S.; PETRONI, G.; DI GREGORIO, S.; GIUDICI, P. Exploring K2G30 Genome: A High Bacterial Cellulose Producing Strain in Glucose and Mannitol Based Media. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, n. 58, p. 1–12, 2019.
- GULLO, M.; SOLA, A.; ZANICHELLI, G.; MONTORSI, M.; MESSORI, M.; GIUDICI, P. Increased production of bacterial cellulose as starting point for scaled-up applications. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 101, n. 22, p. 8115–8127, 2017.
- GÜNDÜZ, G.; AŞIK, N. Production and Characterization of Bacterial Cellulose with Different Nutrient Source and Surface–Volume Ratios. **Drvna industrija**, v. 69, n. 2, p. 141–148, 2018.
- HESTRIN, S.; SCHRAMM, M. Synthesis of cellulose by *Acetobacter xylinum*. **Biochemical Journal**, v. 58, n. 2, p. 345–352, 1954.
- HUSSAIN, Z.; SAJJAD, W.; KHAN, T.; WAHID, F. Production of bacterial cellulose from industrial wastes: a review. **Cellulose**, v. 26, n. 5, p. 2895–2911, 2019.
- IGUCHI, M.; MITSUHASHI, S.; ICHIMURA, K.; NISHI, Y.; URYU, M.; YAMANAKA, S.; WATANABE, K. **Bacterial cellulose-containing molding material having high dynamic strength** 1988.
- JONAS, R.; FARAH, L. F. Production and application of microbial cellulose. **Polymer Degradation and Stability**, v. 59, n. 1–3, p. 101–106, 1998.
- JOZALA, A. F.; LENCASTRE-NOVAES, L. C.; LOPES, A. M.; SANTOS-EBINUMA, V. C.; MAZZOLA, P. G.; PESSOA-JR, A.; GROTO, D.; GERENUCCI, M.; CHAUD, M. V. Bacterial nanocellulose production and application: a 10-year overview. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 100, n. 5, p. 2063–2072, 2016.

JUNG, H.-I.; JEONG, J.-H.; LEE, O.-M.; PARK, G.-T.; KIM, K.-K.; PARK, H.-C.; LEE, S.-M.; KIM, Y.-G.; SON, H.-J. Influence of glycerol on production and structural–physical properties of cellulose from *Acetobacter* sp. V6 cultured in shake flasks. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 10, p. 3602–3608, 2010.

KAYRA, N.; AYTEKIN, A. Ö. Synthesis of Cellulose-Based Hydrogels: Preparation, Formation, Mixture, and Modification. In: MONDAL, I. H. (Ed.). **Cellulose-Based Superabsorbent Hydrogels**. Berlin: Springer, 2019. p. 407–434.

KHATTAK, W. A.; KHAN, T.; UL-ISLAM, M.; WAHID, F.; PARK, J. K. Production, Characterization and Physico-mechanical Properties of Bacterial Cellulose from Industrial Wastes. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 23, n. 1, p. 45–53, 2015.

KIZILTAS, E. E.; KIZILTAS, A.; GARDNER, D. J. Synthesis of bacterial cellulose using hot water extracted wood sugars. **Carbohydrate Polymers**, v. 124, p. 131–138, 2015.

KLEMM, D.; CRANSTON, E. D.; FISCHER, D.; GAMA, M.; KEDZIOR, S. A.; KRALISCH, D.; KRAMER, F.; KONDO, T.; LINDSTRÖM, T.; NIETZSCHE, S.; PETZOLD-WELCKE, K.; RAUCHFUSS, F. Nanocellulose as a natural source for groundbreaking applications in materials science: Today's state. **Materials Today**, v. 21, n. 7, p. 720–748, 2018.

KLEMM, D.; HEUBLEIN, B.; FINK, H.-P.; BOHN, A. Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. **Angewandte Chemie - International Edition**, v. 44, n. 22, p. 3358–3393, 2005.

LEE, K.; BULDUM, G.; MANTALARIS, A.; BISMARCK, A. More Than Meets the Eye in Bacterial Cellulose: Biosynthesis, Bioprocessing, and Applications in Advanced Fiber Composites. **Macromolecular Bioscience**, v. 14, n. 1, p. 10–32, 2014.

LIMA, H. L. S.; NASCIMENTO, E. S.; ANDRADE, F. K.; BRÍGIDA, A. I. S.; BORGES, M. F.; CASSALES, A. R.; MUNIZ, C. R.; SOUZA FILHO, M. S. M.; MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F. Bacterial Cellulose Production by *Komagataeibacter hansenii* ATCC 23769 Using Sisal Juice - An Agroindustry Waste. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 34, n. 3, p. 671–680, 2017.

LYNCH, K. M.; ZANNINI, E.; WILKINSON, S.; DAENEN, L.; ARENDT, E. K. Physiology of Acetic Acid Bacteria and Their Role in Vinegar and Fermented Beverages. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 18, n. 3, p. 587–625, 2019.

MOHITE, B. V.; PATIL, S. V. A novel biomaterial: bacterial cellulose and its new era applications. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 61, n. 2, p. 101–110, 2014.

MONA, S.; BAJAR, S.; DEEPAK, B.; KIRAN, B.; KAUSHIK, A. Microbial cellulose: production and application. In: GRUMEZESCU, V.; GRUMEZESCU, A. M. (Eds.). **Materials for Biomedical Engineering**. 1. ed. Amsterdam: Elsevier, 2019. p. 309–322.

PORTELA, R.; LEAL, C. R.; ALMEIDA, P. L.; SOBRAL, R. G. Bacterial cellulose: a versatile biopolymer for wound dressing applications. **Microbial Biotechnology**, v. 12, n. 4, p. 586–610, 2019.

RAGHAVENDRAN, V.; ASARE, E.; ROY, I. Bacterial cellulose: Biosynthesis, production, and applications. In: POOLE, R. K. (Ed.). **Advances in Microbial Physiology**. 1. ed. London: Elsevier Ltd., 2020. v. 77p. 89–138.

RANGASWAMY, B. E.; VANITHA, K. P.; HUNGUND, B. S. Microbial Cellulose Production from Bacteria Isolated from Rotten Fruit. **International Journal of Polymer Science**, v. 2015, p. 1–8, 2015.

RECOUVREUX, D. O. S.; RAMBO, C. R.; BERTI, F. V.; CARMINATTI, C. A.; ANTÔNIO, R. V.; PORTO, L. M. Novel three-dimensional cocoon-like hydrogels for soft tissue regeneration. **Materials Science and Engineering: C**, v. 31, n. 2, p. 151–157, 2011.

RUKA, D. R.; SIMON, G. P.; DEAN, K. M. Altering the growth conditions of *Gluconacetobacter xylinus* to maximize the yield of bacterial cellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, n. 2, p. 613–622, 2012.

RYNGAJŁŁO, M.; KUBIAK, K.; JĘDRZEJCZAK-KRZEPKOWSKA, M.; JACEK, P.; BIELECKI, S. Comparative genomics of the *Komagataeibacter* strains—Efficient bionanocellulose producers. **MicrobiologyOpen**, v. 8, n. 5, p. 7–31, 2019.

SAHANA, T. G.; REKHA, P. D. Biopolymers: Applications in wound healing and skin tissue engineering. **Molecular Biology Reports**, v. 45, n. 1, p. 2857–2867, 2018.

SHARMA, C.; BHARDWAJ, N. K. Bacterial nanocellulose: Present status, biomedical applications and future perspectives. **Materials Science and Engineering: C**, v. 104, p. 1–18, 2019.

TSOUKO, E.; KOURMENTZA, C.; LADAKIS, D.; KOPSAHELIS, N.; MANDALA, I.; PAPANIKOLAOU, S.; PALOUKIS, F.; ALVES, V.; KOUTINAS, A. Bacterial Cellulose Production from Industrial Waste and by-Product Streams. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, n. 12, p. 14832–14849, 2015.

TUREK, B. C. **EFEITO DO MEIO DE CULTIVO E DO TRATAMENTO DE PURIFICAÇÃO NAS PROPRIEDADES TÉRMICAS E QUÍMICAS DA CELULOSE BACTERIANA**. 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville (Univille), Joinville, 2017.

UL-ISLAM, M.; ULLAH, M. W.; KHAN, S.; SHAH, N.; PARK, J. K. Strategies for cost-effective and enhanced production of bacterial cellulose. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 102, p. 1166–1173, 2017.

ULLAH, H.; WAHID, F.; SANTOS, H. A.; KHAN, T. Advances in biomedical and pharmaceutical applications of functional bacterial cellulose-based nanocomposites. **Carbohydrate Polymers**, v. 150, p. 330–352, 2016.

VELÁSQUEZ-RIAÑO, M.; BOJACÁ, V. Production of bacterial cellulose from alternative low-cost substrates. **Cellulose**, v. 24, n. 7, p. 2677–2698, 2017.

DESTRITOS ESPACIAIS: CONSEQUÊNCIAS AO MEIO AMBIENTE E AO ESPAÇO

Data de aceite: 01/11/2021

Letícia Camargo de Moraes

Instituto de Ciências e Tecnologia-UNESP,
Departamento de Engenharia Ambiental
São José dos Campos-SP

Jorge Kennety Silva Formiga

Instituto de Ciências e Tecnologia--UNESP,
Departamento de Engenharia Ambiental
São José dos Campos-SP
<https://orcid.org/0000-0002-0004-7496>

Fabiana Alves Fiore Pinto

Instituto de Ciências e Tecnologia--UNESP,
Departamento de Engenharia Ambiental
São José dos Campos-SP
<https://orcid.org/0000-0002-2430-8240>

Denilson Paulo Souza dos Santos

Universidade Estadual Paulista, UNESP-SJBV
São João da Boa Vista-SP
<https://orcid.org/0000-0003-2682-4043>

Vivian Silveira dos Santos Bardini

Faculdade de Tecnologia-UNICAMP-SP
Limeira-SP
<https://orcid.org/0000-0003-1573-2557>

RESUMO: O presente trabalho apresenta inicialmente uma pesquisa na legislação com o intuito de observar se o detrito espacial é tratado como resíduo. O segundo passo foi por de uma revisão de literatura, construir uma base histórica da queda do detrito, que demonstrou um aumento na queda deles ao longo dos anos. O levantamento dos dados com base na pesquisa

possibilitou a construção de um mapa indicando a localização das quedas e a definição de resíduos mais recorrentes tais como: tanques e estruturas, no qual pode-se descrever aspectos ambientais associados à queda dos detritos espaciais. Deste modo, um estudo para descobrir se houve ou não a reentrada do possível detrito foi realizada. Em seguida, foi realizada um levantamento sobre a composição dos detritos espaciais mais recorrentes de queda, de acordo com a base de dados construída. Além dos impactos ambientais que podem ocorrer na superfície terrestre com a queda desses materiais sem um devido controle pré-queda há que se atentar para os custos e aos entraves políticos e sociais associados à não regulamentação do setor.

PALAVRAS-CHAVE: Detritos espaciais, legislação e resíduos recorrentes.

SPACE DEBRIS: CONSEQUENCES TO THE ENVIRONMENT AND SPACE

ABSTRACT: This present work presents a research was carried out in the legislation in order to observe if the space debris is treated as waste. The second step was through research, to build a historical basis for debris fall, which has shown an increase in debris fall over the years. The base allowed the construction of a map indicating the location of the falls and the definition of more recurring residues such as: tanks and structures in which environmental aspects associated with the fall of space debris can be described. In addition, a survey was conducted on the composition of the most recurrent falling space debris, according to the built database. In

addition to the environmental impacts that can occur on the earth's surface with the fall of these materials without proper pre-fall control, attention must be paid to the costs and political and social barriers associated with the non-regulation of the sector.

KEYWORDS: Space debris, legislation and recurrent residues.

1 | INTRODUÇÃO

O acúmulo de detrito espacial é altamente afetado por fragmentos de objetos massivos, como naves espaciais intactas, corpos de foguetes entre outros fragmentos de corpos naturais. Estes fragmentos ocupam muito espaço, quando em órbita, e podem prejudicar os objetos que estão ativos, tais como: sondas, satélites e até mesmo a estação espacial. Segundo a Agência Espacial Europeia, em mais de 60 anos de atividades espaciais, mais de 6050 lançamentos resultaram em cerca de 56450 objetos rastreados em órbita, dos quais cerca de 28160 permanecem no espaço e são regularmente rastreados pela US Space Surveillance Network e mantidos em seu catálogo, que abrange objetos maiores do que cerca de 5-10 cm em órbita baixa da Terra (LEO) e 30 cm a 1 m em altitudes geoestacionárias (GEO) (ESA, 2021). Apenas uma pequena fração - cerca de 4.000 - são satélites operacionais intactos hoje. Uma visão sobre a população de detritos, pode ser vista na Figura 1.

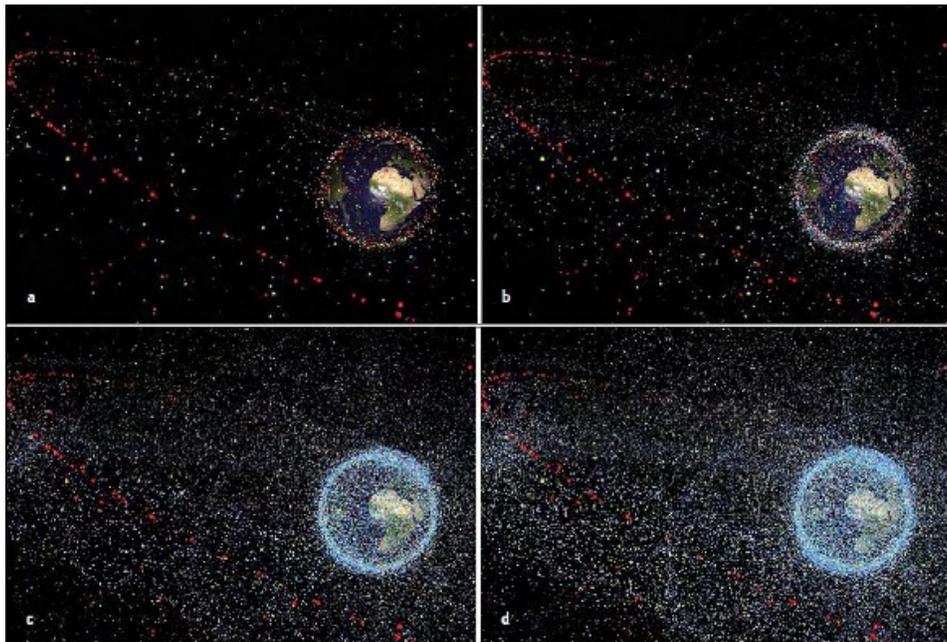


Figura 1: Evolução da população de detritos espaciais rastreados, publicado em janeiro de 2017.

Fonte: ESA (2021).

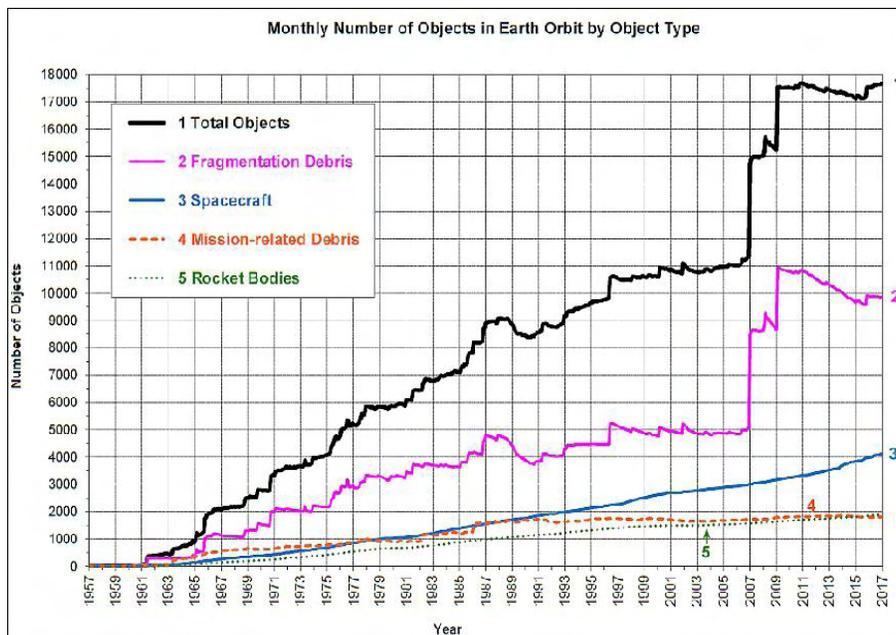


Figura 2: População orbital de objetos espaciais em 2013 apresentado por *Situation Report on Space Debris*.

Fonte: U.S. SSN (2017).

Além da quantidade exorbitante de objetos já existente, quando os mesmos sofrem algum dano, produzem uma nuvem de detritos densos, sendo ainda mais prejudicial à trajetória de outros equipamentos. Deste modo, o entendimento do comportamento da trajetória de equipamentos massivos no instante da fragmentação, garante um efeito benéfico maior para a atividade espacial (LETIZIA, 2016).

Para descrever o atual ambiente de detritos espaciais foi utilizado como base a população orbital de objetos espaciais em 2013 apresentado por *Situation Report on Space Debris* (BONNAL, 2016). Mais de 5.250 lançamentos e mais de 300 *break-ups* em órbita, levou ao aparecimento de 17.854 objetos até março de 2017, que são acessíveis através do catálogo não classificado da Rede de Vigilância Espacial dos EUA (SSN). Esta informação pode ser verificada na Figura 2.

A inativação de equipamentos espaciais e o choque entre veículos que estão em órbita, sejam ativos ou inativos, são os principais fatores de origem do detrito espacial. A principal preocupação ambiental está nas consequências ao futuro do espaço e do planeta Terra, pois o detrito gerado pode afetar a vida útil dos equipamentos que estão em pleno funcionamento no espaço, o que acarreta na produção de mais detrito ao longo das órbitas. Além disso, há a preocupação com a queda dos mesmos na superfície terrestre, com maiores chances de danos diretos a população (BLOCKLEY; SHYY, 2010). Alguns esforços estão sendo realizados para minimizar os impactos ambientais na região espacial,

um dos métodos para o futuro, que já está em fase de teste, é captura do detrito através de redes, como ilustrado na Figura 3.

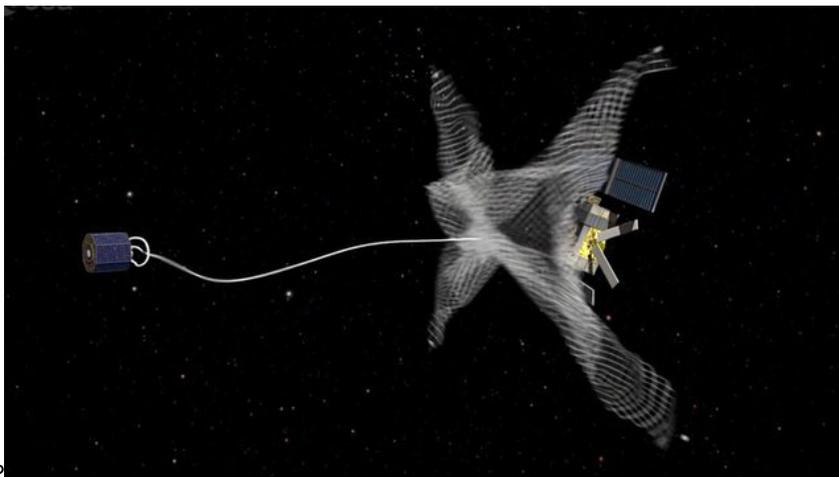


Figura 3: Rede de captura de detrito espacial.

Fonte: ESA (2008).

No Brasil entende-se por resíduos sólidos os restos gerados nas atividades humanas, em sociedade, cuja destinação se procede, se deseja ou se está obrigado a proceder. Esses resíduos, podem estar em diferentes estados físicos (sólidos, líquidos ou gasosos), e em geral são classificados quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente, à saúde pública e quanto à origem de geração. (BRASIL, 2010; ABNT, 2004). No país, o detrito espacial não é classificado como resíduo e não configura uma classe específica quanto à origem de geração, mesmo já tendo ocorrido a queda desse tipo de material no território.

Impactos ambientais relacionados aos detritos espaciais, e sua ocorrência está relacionada às três etapas do ciclo de vida de um equipamento: no lançamento do equipamento e inserção orbital, na órbita, ou seja, quando está operando, e pós vida útil, com a possível reentrada. Para melhor compreender tais impactos causados pelo setor espacial, a ESA aplicou com sucesso a Avaliação do Ciclo de Vida (ACL) para avaliar os impactos ambientais de projetos espaciais ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração de recursos, passando pela fabricação até o final da vida útil (ESA, 2021).

Após um choque do detrito com o solo terrestre, por exemplo, pode ocorrer contaminações na atmosfera, no solo e na água, devido a presença de sólidos, líquidos e gases. Os sólidos, no geral metais, líquidos, combustíveis e gases gerados a partir da queima de combustíveis (DURRIEU; ROSS, 2013).

Não foi encontrado em legislações internacional e nacional como se deve realizar o manejo desses restos, e nem mesmo foram encontradas correlações entre as denominações

de detrito espacial e de resíduos sólidos. No entanto, se considerada a definição de resíduos sólidos, pode-se inferir que a mesma se aplica para os detritos espaciais, já que esses são resultantes de atividades humanas, a partir de atividades espaciais e necessitam de uma destinação adequada, para não afetar a vida útil de outros equipamentos que estão em órbita, o meio ambiente e a sociedade, caso a reentrada e posterior queda ocorra.

De acordo com a Convenção relativa ao Registro de Objetos Lançados no Espaço Cósmico de 1968, o estado que encontrar objetos espaciais ou receber os mesmos através da queda em seu território tem a obrigação de devolvê-los ao Estado de origem (BONNAL, 2016). Já a Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural de 1972 estabelece que caso tenha algum dano, comprovado, a responsabilidade é internacional, e que o dano será reparado (BRASIL, 2006; BRASIL, 1972).

As tratativas relativas ao manejo desses materiais remetem à logística reversa e ao uso do princípio poluidor-pagador. Apesar de não abordar a destinação final do detrito espacial, já vigoram mundialmente diretrizes relativas aos aspectos ambientais a eles associados. As ações preventivas e de minimização dos impactos decorrentes da queda desses resíduos na superfície terrestre demandam conhecimento prévio do local de reentrada, o que pode ser obtido por meio de modelagem computacional.

2 | ESTUDO DO IMPACTO DO DETRITO ESPACIAL: IMPACTO AMBIENTAL

Segundo a resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986, impacto ambiental consiste na alteração das condições do meio ambiente decorrentes de atividades humanas. As alterações podem ser em suas características: física, química e biológica e podem impactar não somente a saúde, a segurança e o bem-estar da população, mas também a biota, as condições sanitárias do meio e a qualidade dos recursos ambientais.

De acordo com a ISO 9001 (2014) são considerados aspectos ambientais qualquer característica da atividade que possa ter algum tipo de interação com o meio, independentemente de ser positivo ou negativo. É importante a destinação adequada de resíduos, não somente para a saúde da população, mas como uma forma de reduzir o uso de recursos naturais. Um dos passos principais consiste na definição dos aspectos ambientais relacionados ao resíduo, para que se possa ter como resultado a definição de impactos ambientais associados, e assim promover ações menos danosas ao meio ambiente.

3 | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Recursos utilizados

- Software *Matlab* para determinar local de reentrada;

- Microsoft Office Excel para construir gráficos e tabelas do histórico de queda de resíduos;
- Software ArcGis para mapear os locais mais recorrentes de queda;
- Internet (dados acadêmicos e não-acadêmicos).
- Lucidchart (produção do fluxograma)

3.2 Metodologia Aplicada

Para a execução do trabalho foi seguido a ordem prevista no fluxograma mostrado na Figura 4 com a execução de algumas atividades em paralelo.

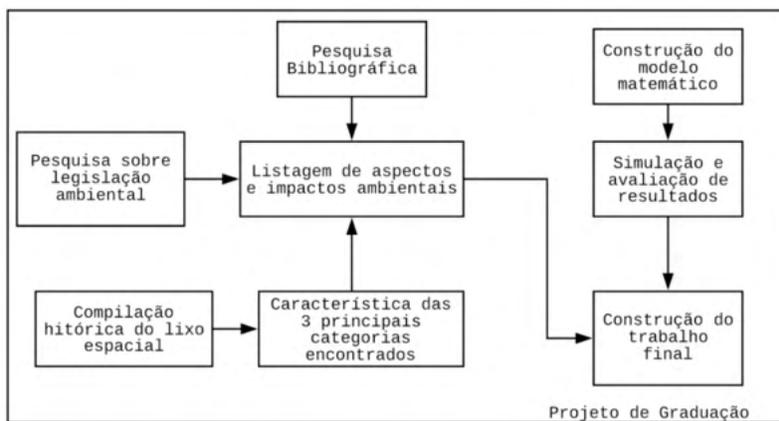


Figura 4: Fluxograma do trabalho.

Fonte: Própria (2019).

A revisão bibliográfica consistiu na averiguação do que já está sendo realizado em termos de pesquisa acadêmica a respeito do tema impactos ambientais de detritos espaciais no planeta e o que está sendo implementado atualmente como tecnologia para minimizar ou erradicar os impactos ambientais relacionados ao assunto. Neste contexto, foram realizadas pesquisas em sites internacionais, para garantir uma base de discussão sobre o assunto do que o mundo está aplicando na atualidade e para conhecer quais serão as novas tecnologias a serem aplicadas.

3.3 Legislação Ambiental

Concomitantemente, foi realizada uma pesquisa sobre a existência de leis, que retratam a caracterização das estruturas espaciais inativas como resíduos e se há algum direcionamento sobre a disposição final do que é originado a partir desses objetos. As buscas foram realizadas em bases científicas com palavras-chave como: “lei detrito espacial”, “lei

resíduo espacial”, “lei detrito” em russo, espanhol, inglês e português. Com os resultados obtidos pode-se verificar países que possivelmente possuem maior preocupação ambiental relacionada aos detritos e ver se há uma correlação entre países que tenham alto índice de lançamentos de equipamentos, também possuem uma alta preocupação ambiental com os resíduos gerados.

A composição dos satélites e foguetes, com o intuito de obter informações sobre as 3 principais categorias encontradas de resíduos espaciais, foram feitas através dos artigos utilizados nesta pesquisa.

3.4 Pesquisa histórica sobre a queda de resíduos e construção do mapa

Para o levantamento de informações sobre os resíduos espaciais foi realizada uma pesquisa histórica no Google, referente a queda de detritos na superfície terrestre em diversas plataformas de armazenamento detritos rastreados. Esta busca foi realizada em três diferentes idiomas (português, espanhol e inglês) por meio de palavras-chave, como “queda resíduo espacial Terra” e “impacto detrito espacial solo”. A partir disso foi construído um banco de dados contendo as seguintes informações: Tipo do objeto, tamanho, local de queda (preferencialmente latitude e longitude), data da queda e ocorrência de dano ambiental.

Para uma análise visual dos locais de queda dos resíduos no planeta, com a intenção de verificar a existência de locais de alta recorrência de queda, ou até mesmo a existência de equipamentos que caem rotineiramente em locais próximos, foi construído um mapa em que as informações utilizadas para a plotagem foram: tipo do equipamento, latitude e longitude. O mapa foi construído no software ArcGis através de uma planilha realizada no Microsoft Excel com as informações supracitadas. Já para análise temporal das informações obtidas pela construção da base de dados foi construído um gráfico de frequência ao longo dos anos, considerando as quedas ocorridas de 1965 a 2018.

3.5 Aspectos e Impactos Ambientais

De início foi realizado uma busca de trabalhos que apontassem os principais aspectos e impactos relacionados a queda de resíduos espaciais, de uma forma geral. Entretanto, como é uma nova área de estudo, não foram encontrados trabalhos que retratassem os impactos de forma detalhada, mas somente em linhas gerais.

Deste modo, foi realizado um estudo considerando as etapas relacionadas a vida de um objeto espacial, ou seja: Lançamento, Equipamento ativo e Equipamento inativo, em que o objetivo foi montar um Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA) que existem em cada etapa considerando o início (o lançamento do objeto espacial) e o final (como a queda do mesmo na superfície, seja Terra ou água).

Com os resultados obtidos foi elaborada uma planilha de Identificação de Aspectos Ambientais e Impactos Ambientais associados. Para facilitar na avaliação foi realizado uma diferenciação de cores verdes e vermelhas, significando impacto positivo e negativo,

respectivamente.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foi proposto a busca por pesquisas científicas que correlatam detrito espacial e meio ambiente de forma a preservar o meio e evitar ao máximo a perturbação do mesmo. Entretanto, a maioria dos trabalhos trata da busca de implantação de explosivos no objeto antes do lançamento para explodir o mesmo quando já estiver inativo. Outra categoria de trabalho consiste na busca, criação ou validação de inovações tecnológicas, para a coleta dos detritos espaciais que estão em órbita. Há também trabalhos que preveem a queda dos resíduos antes da queda propriamente dita e promovem a manobra do equipamento para a queda ocorrer sobre o mar ou em locais menos povoados, como os desertos.

Não foram encontrados até o presente momento, estudos científicos que tratam o detrito espacial como resíduo e que busque caracterizar o mesmo com o objetivo de dar uma destinação correta caso o equipamento caia na superfície terrestre, ou se mantenha em órbita por muitos anos.

4.1 Base de dados e mapa do detrito espacial

A partir da base de dados obtidos foi possível verificar que a taxa de resíduos espaciais que caem está aumentando nos últimos anos (Figura 5), e cerca de 12% apresentam um dano associado, como degradação de moradias e emissão de substâncias tóxicas. Nos dois últimos anos, a frequência apresentou valores menores, porém, acredita-se que os dados de 2017 ainda não foram divulgados por falta de comprovação da origem do resíduo e os do ano de 2018 por não apresentar dados do ano inteiro.

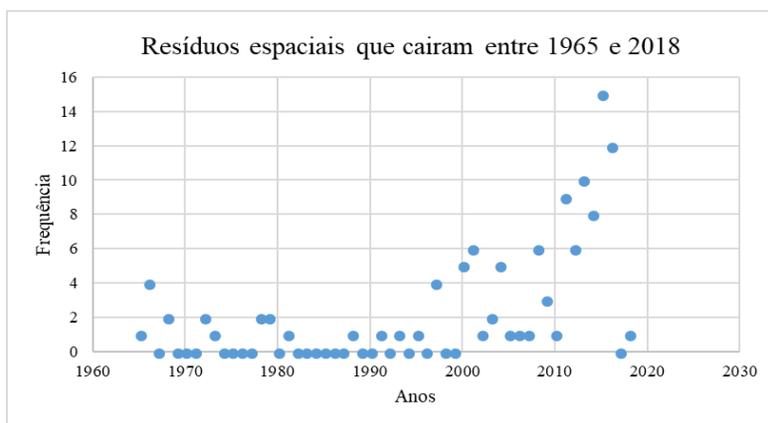


Figura 5: Frequência da queda de resíduos espaciais entre os anos de 1965 a 2018.

Fonte: Própria (2019).

O Brasil, até o presente trabalho, não apresenta lei que estabelece diretrizes relativas ao manejo dos resíduos espaciais. As atividades espaciais não podem causar poluição prejudicial do espaço exterior, levando a mudanças no ambiente, incluindo a eliminação de detritos intencionalmente no espaço. Deste modo, os objetos inativos não devem permanecer em órbita após sua desativação, sendo responsabilidade da organização que instaurou os equipamentos sua destinação correta, porém, as leis não retratam como deve ocorrer a captura desses detritos que se mantêm em órbita após a sua desativação.

Os resíduos mapeados da base de dados estão mostrados na Figura 6. No total foram mapeados 139 resíduos, sendo que os mesmos foram divididos em tipos, dentre eles, tanques, estruturas, propulsores e satélites.

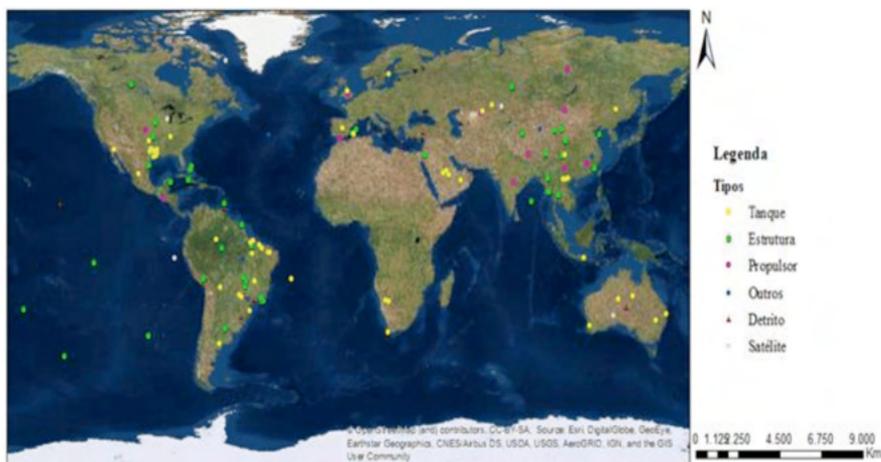


Figura 6: Mapeamento dos tipos de resíduos que caíram entre os anos de 1965 e 2018.

Fonte: Própria 2019.

O resíduo com maior recorrência de queda foi o tanque, cerca de 40% de todos os dados coletados. Em sua composição geralmente se verifica a presença de níquel e em sua grande maioria são tanques para propulsão, ou seja, consiste em um reservatório de combustível que em teoria é projetado para ser esvaziado ao longo do processo de propulsão até atingir a altura desejada, em que o equipamento manterá em órbita. O segundo mais recorrente, é estrutura, com 30%. Consistem em carcaças de diversos equipamentos que são lançados, tais como: foguete, satélite e ônibus espacial. São resíduos facilmente identificáveis, pois geralmente a identificação da organização é localizada na estrutura do equipamento, como é uma parte com maior marketing envolvido, geralmente possui logos das principais organizações envolvidas. Deste modo, é recorrente em sua composição tintas e materiais metálicos, para fornecer uma estrutura para os materiais mais sensíveis que ficam no interior da estrutura.

4.2 Aspectos e impactos ambientais associados ao detrito espacial

Na Figura 7 e 8 consta a maior parte dos aspectos e impactos ambientais associados aos detritos espaciais. O principal aspecto ambiental (Fig. 7) relacionado ao lançamento consiste na queima de combustível quando ocorre o lançamento. Com o lançamento ocorre um impacto ambiental negativo, que consiste na mudança da característica atmosférica, com inserção de novos componentes que contaminam a atmosfera, e formam uma nuvem de nuvem de fumaça, contendo gases e material particulado suspenso com temperatura elevada.

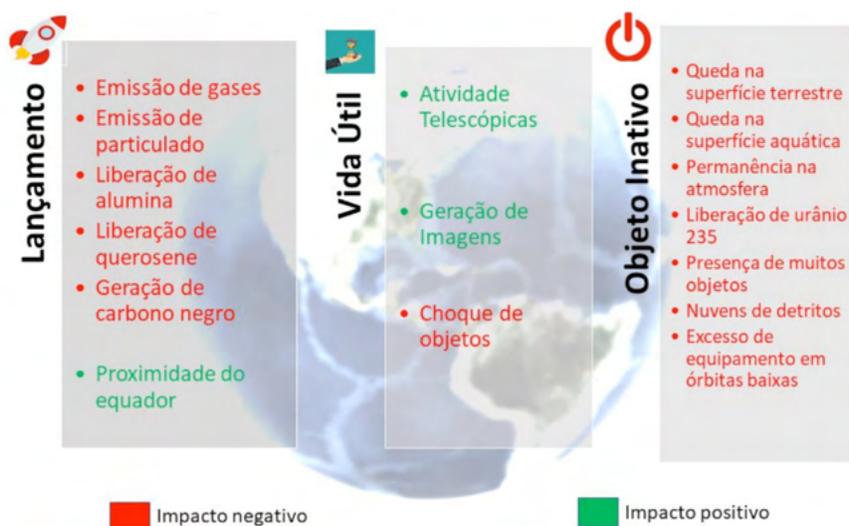


Figura 7 : Aspectos Ambientais.

Fonte: Própria 2021.

Na fase do objeto ativo a maior parte dos impactos é positiva e se relacionam com o fornecimento de informações importantes para a população, tais como: monitoramento ambiental, emprego para a população, análise de imagens, informações sobre o planeta, condições climáticas, entre outros. Isso é um dos fatores que colaboram muito para que a atividade espacial continue, pois é muito importante ter informações sobre a Terra em tempo real. Estas informações sobre os impactos ambientais foram distribuídas conforme o aspecto ambiental, como pode ser vista na Figura 8.



Figura 8 : Impactos Ambientais.

Fonte: Própria 2021.

Na fase de inativação muitas informações sobre o equipamento são perdidas e esses passam para a inferir impactos negativos relevantes novamente. Nessa fase, geralmente os objetos são explodidos, e produzem uma nuvem, e podem alterar negativamente a qualidade na órbita para equipamentos ativos. Como a velocidade desses detritos em sua maioria são elevadas, o choque pode provocar a inativação de equipamentos em atividade, além disso, os equipamentos inativos em órbita podem retornar para a Terra e provocar danos em plantações, contaminação de rios e oceanos, ou até mesmo acidentes com os seres humanos na sua queda.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As pesquisas relacionando os detritos espaciais com a questão ambiental ainda são muito voltados para os interesses espaciais, pois a maioria dos estudos refletem no interesse humano de continuar com a atividade espacial sem prejudicá-la. A preocupação com a questão do meio que está sendo contaminado com gases, sólidos e líquidos é rara, mas já se sabe que parte desses compostos volta para o planeta e simplesmente não possuem normas que delimitem o que pode ou não ser feito com esse resíduo.

Os aspectos e impactos ambientais, estão relacionados também a reentrada de detritos, pois o espaço já possui muitos objetos e não há um planejamento de destinação para esses resíduos. Além dos impactos ambientais que podem ocorrer na superfície terrestre com a queda desses materiais sem um devido controle pré-queda há que se atentar para os custos e aos entraves políticos e sociais associados à não regulamentação

do setor.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos classificação, Rio de Janeiro, 2004.

BLOCKLEY, Richard; SHYY, Wei. **ENCYCLOPEDIA OF AEROSPACE ENGINEERING**, Fluid dynamics and Aerothermal dynamics. New York, EUA. Wiley, 2010.

BRASIL. DECRETO Nº 5.806, DE 19 DE JUNHO DE 2006. Promulga a Convenção Relativa ao Registro de Objetos Lançados no Espaço Cósmico. 2006.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001, de 23 de janeiro de 1986.

BONNAL, Christophe; DARREN, S. McKnight. **IAA Situation Report on Space Debris**, Ed. 2016, Paris, França, 2016.

ESA. The European Space Agency, 2021. Informações sobre detritos espaciais. Disponível em: <https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/About_space_debris>. Acesso em: 04 de agosto de 2021.

LETIZIA, Francesca, 2016. **DEBRIS CLOUD ANALYTICAL PROPAGATION FOR A SPACE ENVIRONMENTAL INDEX**. Disponível em: <https://indico.esa.int/event/111/contributions/259/attachments/472/517/ICATTindex_paper.pdf>.

Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e cultura. **Convenção para a proteção do patrimônio mundial, cultural e natural**. 1972. Disponível em: <<https://whc.unesco.org/archive/convention-pt.pdf>>

CAPÍTULO 15

UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA OS MODELOS ATÔMICOS UTILIZANDO O SIMULADOR PHET

Data de aceite: 01/11/2021

Carla Caroline Melgueira da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM-CMC)
/ Secretaria de Educação e Desporto do Amazonas (SEDUC-AM)

Paula Gabrielly Freire Jacyntho

Secretaria de Estado de Educação e Desporto do Amazonas (SEDUC-AM)

Andrey Martins Monteiro

Secretaria de Estado de Educação e Desporto do Amazonas (SEDUC-AM)

Maria Luiza Santos Cuvello

Secretaria de Estado de Educação e Desporto do Amazonas (SEDUC-AM)

Yasmin Ferreira da Silva

Secretaria de Estado de Educação e Desporto do Amazonas (SEDUC-AM)

RESUMO: Esta proposta de sequência didática sobre a evolução dos modelos atômicos foi desenvolvida com três alunos, duas alunas da primeira série e um aluno da segunda série do Ensino Médio de uma escola pública de Manaus, de forma presencial no laboratório de informática, com duração de duas aulas, de 50 minutos cada. O objetivo desta sequência didática é proporcionar aos alunos a compreensão sobre o tema átomo e a evolução dos modelos atômicos através da utilização da simulação Monte um Átomo, do simulador PhET. Para a elaboração desta sequência didática utilizou-se vários

recursos didáticos para facilitar a aprendizagem dos discentes ao longo dessas duas aulas como a utilização de slides, a utilização da simulação Monte um Átomo e a utilização de uma atividade final para verificar quais informações foram assimiladas pelos discentes que participaram desta abordagem. Coletaram-se as informações sobre a existência ou não do conhecimento prévio dos alunos em relação a este tema por meio de um questionário inicial constituído de quatro questões abertas e fechadas, para verificar se existia algum conhecimento prévio por parte desses estudantes em relação a este tema, além de uma atividade final constituída de cinco questões abertas e fechadas, que teve o intuito de verificar se houve uma evolução no processo de aprendizagem dos mesmos em relação a este tema e se a simulação que foi abordada na aula auxiliou os alunos durante este processo de construção do conhecimento.

PALAVRAS-CHAVE: Modelos atômicos; Sequência didática; Simulador PhET.

ABSTRACT: This proposal for a didactic sequence on the evolution of atomic models was developed with three students, two students from the first grade and one student from the second grade of high school from a public school in Manaus, in person in the computer lab, lasting two classes, of 50 minutes each. The purpose of this didactic sequence is to provide students with an understanding of the atom theme and the evolution of atomic models through the use of the Mount an Atom simulation of the PhET simulator. For the preparation of this didactic sequence, several didactic resources were used

to facilitate the students' learning throughout these two classes, such as the use of slides, the use of Mount an Atom simulation and the use of a final activity to verify which information was assimilated by the students who participated in this approach. Information on the existence or not of prior knowledge of students in relation to this topic was collected through an initial questionnaire consisting of four open and closed questions, to check if there was any prior knowledge on the part of these students regarding this topic. , in addition to a final activity consisting of five open and closed questions, which aimed to verify if there was an evolution in their learning process in relation to this topic and if the simulation that was addressed in class helped students during this process of knowledge construction.

KEYWORDS: Atomic models; Following teaching; PhET simulator.

1 | INTRODUÇÃO

Para que um indivíduo crie uma visão crítica construtiva a respeito dos acontecimentos ao seu redor é necessário conhecimento e habilidade de articulação, pois desta forma ele consegue apontar soluções e melhorias para sua sociedade. A literatura considera os acontecimentos científicos como um dos mais importantes para a história da humanidade. Grandes nomes da ciência propuseram formas de conhecimentos científicos sobre fenômenos ligados à Biologia, a Física e a Química. Este fato é tão evidente que estas disciplinas foram imputadas como componente curricular nas escolas de ensino básico, tornando-se ao longo do tempo, elementos importantes para a formação do indivíduo.

As Ciências da Natureza dentro do âmbito escolar compreende um componente curricular de difícil compreensão, se comparado a outras disciplinas. Por este motivo, os alunos afirmam que junto com a disciplina de matemática são os componentes que mais oferecem risco de reprovação no curso do ensino médio, e pelo fato de o processo ensino-aprendizagem não ser tão eficaz, estas dificuldades de absorção se estendem para as próximas fases educacionais, como por exemplo, o ensino superior, caso seja necessário o estudo e compreensão das matérias. A grande dificuldade apresentada está atrelada a impossibilidade de compreensão de fenômenos, Especialmente quando estes não conseguem ser visualizados no cotidiano (SOARES, 2013).

Com a reforma das diretrizes curriculares e a inserção da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), as disciplinas de física, química e biologia ganharam espaço dentro do componente curricular de Ciências da Natureza, enfatizando ainda mais a interdependência destas três grandes áreas da ciência, levando o aluno entender que fenômenos biológicos tem total ligação com a física e a química e que uma possível explicação para tal acontecimento pode ser complementado pela ação conjunta de fatores propostos por estas três áreas.

O ensino das grandes áreas da ciência perpassa simples conceitos e vai além de fórmulas e regras. O que se deve pensar é que o mais importante é contextualizar as informações com a realidade vivida por cada aluno. A linguagem matemática, por exemplo, é uma ferramenta imprescindível para a abordagem das disciplinas que compõem as

Ciências da Natureza e percebe-se que articulação entre estas disciplinas é quase inexistente, o que gera um fator real de formação de dificuldade por parte dos alunos. Outro fator limitante na vida escolar é o tipo de material didático aderido pela escola, pois nem sempre possui uma abordagem contemporânea, capaz de associar os acontecimentos com aquilo que se propõe a aprender no colégio. Por esta razão é de inteira responsabilidade do profissional de educação articular metodologias eficazes que permitam os discentes enxergarem os fenômenos apresentados nas disciplinas de física, química e biologia dentro desta perspectiva destacam-se a utilização de softwares educacionais como opção alternativa de ferramenta (ARANTES, 2010).

No entanto, estabelecer critérios que auxiliem o aluno a entender e enxergar estes fatos com visão holística requer reinvenção contínua, de modo que o professor necessite criar estratégias de ensino e aprendizagem que estimulem o aluno 'querer aprender' a cada aula ministrada. E além do mais é necessário que os professores de física, química e biologia embasem articulações conjuntas para propor métodos inovadores de aulas, mesmo dispondo de ínfimos recursos que agregam valor ao seu trabalho. Neste sentido, os simuladores digitais constituem um método inovador no processo ensino e aprendizagem dos alunos do ensino médio, indivíduos estes que perpassam a fase de conhecimento científico para ingressarem nos cursos de graduação posteriormente. Um destes simuladores digitais utilizados atualmente em muitas instituições de educação é o Simulador PhET.

O Simulador PhET (Physics Educational Technology) é uma espécie de laboratório online que apresenta diversas simulações de experimentos científicos, das disciplinas de física, química, biologia e matemática, disciplinas estas que necessitam caminhar juntas no processo científico. O programa foi criado pela Universidade do Colorado em Boulder (University of Colorado at Boulder), região dos Estados Unidos, por Carl Wieman, em 2001, onde o mesmo recebeu o prêmio Nobel em Física por a condensação de Bose-Einstein. As aulas simuladas do PhET baseiam-se em uma educação pautada na evidência, através de um recinto intuitivo, parecido com um jogo, onde os alunos são estimulados a aprender diante da exploração e das descobertas.

Segundo Arantes, Miranda e Studart (2010), o grupo PhET possui uma abordagem baseada em pesquisa, na qual as simulações são planejadas, desenvolvidas e avaliadas antes de serem publicadas no sítio. As entrevistas com estudantes são fundamentais para o entendimento de como eles interagem com simulações e o que as torna efetivas educacionalmente. As simulações propostas pelo simulador PhET são escritas em Java e disseminadas utilizando a tecnologia "Web Start", uma maneira maior em relação às tradicionais applets. O Java constitui uma multiplataforma e tem muito mais desenvoltura (por ser uma linguagem estática e compilada) do que flash ou Java script. As simulações interativas, de fenômenos físicos, químicos, biológicos e matemáticos servem para aprimorar a assimilação dos conteúdos ministrados de maneira prática, facilitando a boa a

absorção dos conteúdos (SANTOS, ALVES e MORET, 2006).

O uso do software é fácil, necessitando apenas de um computador com acesso à rede de internet e com o acessório Java Flash instalado. Desta forma, os simuladores poderão ser utilizados sem qualquer dificuldade aparente. Pensando por este lado, Soares (2013), afirma que para auxiliar os discentes a entender conceitos virtuais, as simulações PhET dão vida ao que é invisível através da criação de gráficos e controles intuitivos, como por exemplo, clicar e arrastar a manipulação, controles deslizantes e botões de rádio. Com o intuito de entusiasmar a exploração quantitativa, as simulações também ofertam recursos de mensuração, incluindo régua, cronômetros, voltímetros e termômetros. Conforme o usuário escolhe usar essas ferramentas adicionais, as respostas são instantaneamente interativas, ilustrando as relações de causa e efeito, bem como representações relacionadas ao caso (deslocamento de objetos, gráficos, compreensão de números), e outros (SOARES, 2013).

O objetivo de aplicação pedagógica da simulação Phet pode auxiliar a incorporar um moderno assunto, criar conceitos ou competências, substanciar ideias ou oferecer pensamento crítico e análise final. O uso desse instrumento por docentes pode ser diverso, podendo ser utilizado como aulas expositivas, atividades em grupos na classe, atividades para casa ou no laboratório (WIEMAN, 2010). Em aulas expositivas as simulações podem fornecer demonstrações. Nessa circunstância, o real benefício pauta-se em detectar conceitos abstratos como fótons, elétrons, linhas de campo, dentre outros. Além disso, determinadas simulações fazem com que gráficos sejam construídos em tempo real, conforme o professor interage com elas. O docente deve propor questionamentos prévios com o intuito de imputar concepções alternativas do conteúdo em estudo (ARANTES, MIRANDA e STUDART, 2010).

Desta forma, o objetivo deste projeto é Propor a utilização do simulador Phet como recurso metodológico de ensino e aprendizagem do componente curricular de ciências da natureza para alunos do ensino Médio da Escola Estadual Ângelo Ramazzotti, vinculada à Secretaria Estadual de Educação da Cidade de Manaus, Estado do Amazonas. Além da proposta de utilização do simulador, é possível observar que o projeto tende a estimular a utilização da tecnologia como elemento importante no aprendizado das ciências da natureza, podendo ser utilizado também como sugestão de aula prática constante na escola, bastando apenas que o simulador esteja instalado em todos os computadores do laboratório de informática.

2 | METODOLOGIA

O projeto foi desenvolvido na Escola Estadual Ângelo Ramazzotti, vinculada à Secretaria de Educação e Desporto do Amazonas – SEDUC AM, entre os meses de julho e agosto de 2021, sendo desenvolvido como parte de um projeto maior vinculado à Fundação

de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM, através do Projeto Ciência na Escola, uma iniciativa do governo do estado para o incentivo ao desenvolvimento de pesquisa científica, com foco em experimentos de baixo custo e acessível aos alunos. A Escola Estadual Ângelo Ramazzotti situa-se na cidade de Manaus, no bairro de Adrianópolis, funcionando apenas para o curso de Ensino Médio, nos turnos matutino e vespertino, contando com aproximadamente 1500 alunos matriculados ao total. Destes, 3 alunos, regularmente matriculados na 1ª e 2ª série do ensino médio, foram selecionados para participarem como bolsistas deste projeto, desenvolvendo todas as atividades inerentes ao projeto.

Primeiramente os bolsistas receberam treinamento ofertado pelas professoras coordenadoras do projeto para conhecerem como funciona a plataforma do simulador PhET Colorado. Além disso, os alunos também tiveram a oportunidade de conhecer o projeto e os objetivos da execução de cada fase. Todos os simuladores disponíveis na disciplina de física, no simulador foram explorados, sendo optado os modelos atômicos como proposta de trabalho para esta primeira parte do projeto. Este estudo foi dividido em: avaliação inicial (Diagnóstica), aula 1 (Expositiva), aula 2 (manipulação do simulador PhET) e avaliação final (análise da intervenção realizada).

Após a escolha do tema a ser trabalhado, os alunos realizaram uma avaliação diagnóstica para que pudéssemos mensurar o grau de conhecimento sobre o assunto escolhido para trabalhar. Os alunos responderam questões simples sobre o assunto e após análise dos resultados os mesmos foram submetidos a uma aula experimental. A aula, de caráter teórico e expositivo, ocorreu no laboratório de informática da escola. Os alunos puderam conhecer melhor os modelos atômicos, a formação e composição do átomo. A aula foi aplicada pela professora de Física e Co-orientadora do projeto e complementada na disciplina de Biologia pela Orientadora, então professora da disciplina, que contextualizou a formação dos átomos na formação de moléculas e na composição química das células.

Após a aula expositiva, os alunos manipularam a simulação disponível no PhET Colorado, intitulada como “Monte um Átomo”, onde o objetivo do experimento digital consiste em ensinar o aluno a montar um átomo contendo todas as cargas elétricas e suas respectivas localizações. Além disso, este simulador permite que o aluno conheça as funções de cada carga elétrica, a razão do seu comportamento químico e noções básicas de organização e manuseio da tabela periódica. Durante a utilização dos experimentos no simulador, os alunos montaram sete átomos (hidrogênio, carbono, hélio, cálcio, potássio, flúor e oxigênio).

Após a aula teórica e prática com o auxílio do simulador digital, os alunos realizaram outra avaliação (avaliação final), onde o objetivo foi analisar a intervenção realizada após a aplicação da aula e das simulações digitais. As perguntas foram objetivas em relação ao assunto trabalhado e após a resolução das mesmas os formulários 1 e 2 foram analisados para a compilação de resultados obtidos a partir das respostas.

3 | RESULTADO E DISCUSSÃO

Esta sequência didática sobre o tema a evolução dos modelos atômicos foi desenvolvida presencialmente no laboratório de informática com 3 alunos do Ensino Médio, um aluno da 2ª série e duas alunas da 1ª série de uma escola pública de Manaus.

Nesta abordagem foram utilizados o simulador PhET e o aplicativo WhatsApp para fazer a comunicação com os alunos e combinar os dias das aulas presenciais e atividades do projeto.

Esta sequência didática foi constituída de duas aulas realizadas presencialmente no laboratório de informática, além da utilização da simulação “Monte um átomo” do simulador PhET para facilitar o processo de visualização e compreensão dos alunos em relação a este tema.

Ao longo desta sequência foi utilizado um questionário inicial para coletar as respostas dos três alunos que participaram desta abordagem e uma atividade final sobre os conteúdos que foram abordados nestas duas aulas. O questionário inicial foi passado no início da primeira aula, este questionário foi constituído de quatro perguntas abertas e fechadas para verificar se existia algum conhecimento prévio ou objeto subsumor sobre o tema os modelos atômicos, em seguida iremos analisar algumas respostas do questionário inicial dos três alunos do ensino médio que participaram desta abordagem, que chamaremos de aluno A, aluna B e aluna C.

Comparando as respostas dos alunos referente à questão 1, “Você já tinha ouvido falar antes sobre o Simulador PhET?”, o aluno A respondeu Não, a aluna B respondeu que Não e aluna C também respondeu Não, desta forma observou-se que nenhum deles havia tido contato com este simulador que poderia ter facilitado a aprendizagem de diversos conteúdos durante os seus estudos.

Comparando as respostas dos alunos referente à questão 2, “Você já tinha estudado algum assunto das disciplinas Biologia, Física ou Química com o auxílio de uma simulação ou programa computacional?”, o aluno A respondeu Não, a aluna B respondeu Não e aluna C respondeu Não também, observou-se assim que nenhum dos três alunos tinha tido contato com nenhum simulador ou programa computacional para aprender algum conteúdo dessas disciplinas.

Comparando as respostas dos três alunos referente à questão 3 do questionário inicial, “De acordo com os seus conhecimentos prévios, com as informações iniciais que você recebeu durante esta sequência didática sobre o átomo, quais os conceitos e informações que você pode compreender melhor através da simulação “Monte um Átomo?”, o aluno A respondeu que conseguiu compreender o conceito do átomo melhor e sobre os elementos químicos da tabela periódica. Já a aluna B respondeu que por meio da simulação ela conseguiu visualizar melhor os prótons, os nêutrons e os elétrons, que ela conseguiu ver o número de massa, o valor da carga, o módulo e comentou também sobre o modelo da

nuvem eletrônica que ela ainda não tinha visto. Além de ela poder criar um átomo e criar elementos químicos diferentes através desta simulação. A aluna C respondeu que através da simulação ela conseguiu ver como o átomo pode ficar estável ou não, que ela conseguiu ver o valor da carga resultante e o número de massa do elemento químico mostrado na simulação depois de o átomo ser montado, conforme podemos observar na figura 1.

Comparando as respostas dos três alunos referente à questão 4 do questionário inicial, “De acordo com os seus conhecimentos prévios e conforme as informações iniciais que foram passadas sobre o átomo e sobre o simulador PhET durante esta abordagem didática, comente sobre as vantagens e as desvantagens de se utilizar uma simulação computacional para estudar um assunto como este?”, o aluno A respondeu que a vantagem de se utilizar uma simulação computacional é que faz o aluno entender de forma prática como um átomo se forma e como seria a sua estrutura, já a desvantagem seria que nem todas as escolas possuem um laboratório de informática com computadores que tenham acesso à internet pra poder aplicar este simulador, o aluno A se equivocou quando disse que precisaria de um computador com acesso à internet para poder se utilizar o simulador PhET, pois o professor pode ter o instalador do PhET no seu pen-driver e instalar o simulador PhET direto no computador sem ter acesso à internet, desde que ele já tenha o instalador desse simulador. Já a aluna B respondeu que o simulador PhET é uma forma prática de conhecer conteúdos que ela não consegue visualizar a olho nu, além de o simulador oferecer para o aluno jogos e exercícios práticos que podem ajudar durante os estudos. A aluna C respondeu que não conseguia ver desvantagens em se utilizar o simulador PhET, conforme podemos observar na figura 1.

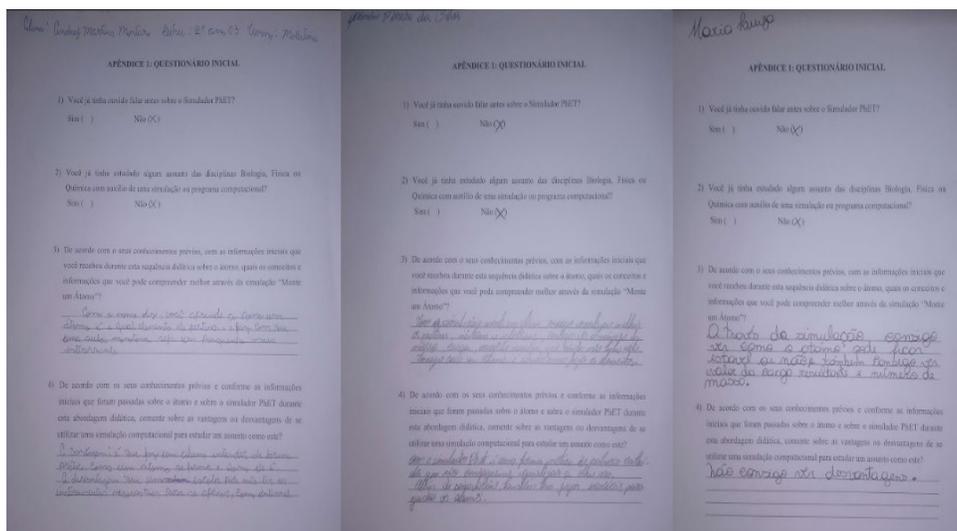


Figura 1: Questionários Iniciais respondidos pelos alunos na aula 1.

Fonte: Autoral.

Após a abordagem das duas aulas propostas nesta sequência didática, foi passada uma atividade referente aos conteúdos abordados nesta sequência didática para os três alunos, para verificar o que foi aprendido por estes alunos durante esta abordagem, quais foram às informações que foram assimiladas por estes alunos e se houve uma evolução no processo de aprendizagem dos mesmos, a seguir faremos uma análise das respostas desta atividade desses três alunos.

Comparando as respostas três alunos referente à questão 1 da atividade final, “De acordo com as informações que foram passadas durante esta aula e com as informações que foram adquiridas através da simulação “Monte um Átomo”, você saberia explicar a importância do nêutron para o núcleo do átomo?”, o aluno A respondeu que para que o átomo possa ter equilíbrio para que os prótons e elétrons não se choquem existe o nêutron, se por exemplo, em um átomo existir 2 prótons vai existir 2 nêutrons também, que mantém o equilíbrio do núcleo atômico diminuindo do “magnetismo”, o aluno A se equivocou um pouco na sua resposta, porque o nêutron irá diminuir a força de repulsão entre os prótons no núcleo do átomo e irá diminuir a força de atração entre os prótons e os elétrons. Já a aluna B conseguiu apresentar uma resposta mais correta, ela respondeu que o nêutron reduziria a força de repulsão entre os prótons, sem os nêutrons o átomo explodiria e assim não existiria nada, já que tudo é constituído por átomos. A aluna C também apresentou uma resposta mais formal, ela respondeu que a principal função dos nêutrons é estabilizar o núcleo do átomo, reduzindo a força de repulsão entre os prótons do núcleo atômico, conforme podemos observar na figura 2.

Comparando as respostas dos três alunos referente à questão 2 da atividade final, “De acordo com as informações que foram passadas durante esta aula, você saberia explicar a diferença entre o modelo de Rutherford e o modelo de Rutherford-Bohr?”. O aluno A respondeu que, Rutherford explicou que os prótons e os elétrons são afastados, mas não sabia explicar porque eles não se atraíam. Já Bohr complementou a teoria de Rutherford, ele conseguiu explicar porque os elétrons não eram atraídos pelos prótons do núcleo e porque eles liberavam energia. Já aluna B também respondeu que Rutherford dizia que o átomo seria composto por um núcleo com partículas positivas (prótons) e partículas neutras (nêutrons). E já o modelo de Bohr seria formado por um núcleo pequeno, com os prótons e os nêutrons e os elétrons estariam localizados na eletrosfera em órbita circular. A aluna C respondeu que a principal diferença entre os modelos é o ajuste feito pelo Bohr, onde o elétron adquire energia, que é representado através de uma órbita definida. As órbitas definidas foram chamadas por Bohr de níveis de energia, conforme é mostrado na figura 2.

Comparando as respostas dos três alunos referente à questão 3 da atividade final, “De acordo com as informações iniciais que você recebeu durante esta sequência didática sobre o átomo e os modelos atômicos, quais os conceitos e informações que você pode compreender melhor através da simulação “Monte um Átomo”?”, o aluno A respondeu que sobre como o átomo chegou na forma final, que ele pôde observar a massa, como ele se

forma, se ele é instável ou não. Já a aluna B respondeu que com a simulação Monte um Átomo ela conseguiu visualizar os elétrons, os prótons e os nêutrons, o que na realidade não daria pra ver a olho nu. Além de montar os átomos, ela conseguiu perceber qual elemento químico foi trabalhado com a simulação. A aluna C respondeu que o simulador ela conseguiu ver a instabilidade que pode ser gerada pela falta de nêutrons ou prótons do núcleo atômico, além de ela poder formar inúmeras possibilidades de átomos e elementos químicos, conforme podemos observar na figura 2.

Comparando as respostas dos três alunos referente à questão 4 da atividade final, “Conforme as informações da simulação Monte um Átomo, marque um (X) em qual desses elementos químicos a seguir possui 4 prótons, 4 nêutrons e 2 elétrons: a) Lítio (Li); b) Berílio (Be); c) Sódio (Na); d) Magnésio (Mg)”, tanto o aluno A, quanto a aluna B e a aluna C marcaram a alternativa correta que seria a letra b) Berílio (Be), desta forma observou-se que os três alunos conseguiram absorver as informações que foram passadas durante as aulas teóricas e as informações que foram passadas durante a simulação Monte um Átomo do PHET.

Comparando as respostas dos três alunos referente à questão 5 da atividade final, “Conforme as informações da aula sobre os Modelos Atômicos, encontre as palavras-chaves que estão relacionadas com o assunto no caça-palavras abaixo: BOHR; DALTON; PHET; RUTHERFORD; THOMSON”. Tanto o aluno A, quanto a aluna B e aluna C responderam corretamente essa questão, conseguiram captar quais seriam essas palavras-chaves mais importantes das aulas e em seguida encontraram as mesmas no caça-palavras.

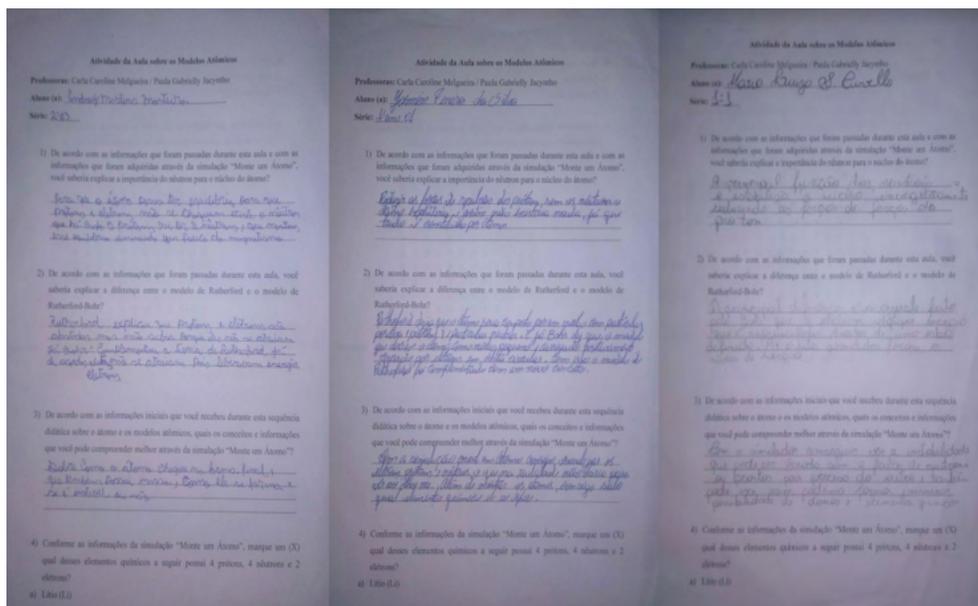


Figura 2: Atividade Final respondida pelos alunos ao final da aula 2.

Fonte: Autoral.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho procurou-se elaborar uma sequência didática acerca deste tema a evolução dos modelos atômicos, que um tema atual tanto da Física quanto da Química, este tema ajuda a compreender como ocorreu a criação dos modelos atômicos e como estes modelos contribuíram para o modelo do átomo atual, além da utilização do simulador PhET como ferramenta facilitadora para o processo de aprendizagem deste tema abstrato, que os alunos dificilmente poderiam no cotidiano.

Esta sequência didática teve o objetivo de mostrar o conceito do átomo e a sua formação, além de mostrar a evolução dos modelos atômicos e experimentos que contribuíram para o modelo atual do átomo, além de mostrar a simulação Monte um Átomo que teve o intuito de mostrar na prática como esses conceitos da Física e da Química são aplicados na prática, por meio desta simulação, conforme afirma (SANTOS, ALVES e MORET, 2006), que as simulações de fenômenos físicos que servem para aperfeiçoar o entendimento dos conteúdos ministrados de uma forma prática facilitando assim o aprendizado do aluno e absorção dos conteúdos.

Analisando as respostas dos três alunos da primeira e segunda série do ensino médio, que participaram desta sequência didática, observou-se que os mesmos apresentaram uma evolução em sua aprendizagem em relação a este tema, principalmente a aluna B, que apresentou umas respostas mais completas, ela abordou com mais detalhes sobre os assuntos que ela aprendeu nesta sequência didática e sobre as informações que ela conseguiu assimilar sobre o simulador PhET, percebeu-se uma evolução nas suas respostas do questionário inicial para as respostas da atividade final do três alunos, porém a aluna B apresentou um resultado mais satisfatório, porque apresentou umas respostas com mais riquezas de detalhes tanto em relação aos conteúdos como em relação à simulação Monte um Átomo.

O resultado deste trabalho foi satisfatório, porque observou-se a evolução no processo de aprendizagem dos discentes que participaram desta sequência didática, que houve uma evolução nas respostas desses três discentes durante esta abordagem, se compararmos as respostas desses alunos em relação à primeira aula em relação às respostas da segunda aula, observaremos que todos apresentaram uma evolução no seu processo de aprendizagem, porém a aluna B apresentou uma evolução maior nas suas respostas, que foram mais completas e apresentaram uma riqueza de detalhes nas informações que foram passadas tanto na aula teórica quanto na aula prática, quando eles tiveram acesso a simulação Monte um Átomo.

O próximo passo a partir deste ponto é dar continuidade ao projeto maior, utilizando o simulador digital para as demais áreas das ciências da natureza, que são as disciplinas de biologia e química.

REFERÊNCIAS

ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S. E STUDART, N. **Objetos de Aprendizagem no Ensino de Física: Usando Simulações do PhET**. Revista Física na Escola, v. 11, n. 1, 2010. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol11-Num1/a081.pdf>. Acesso em: 06 de julho de 2021.

SANTOS, G. H.; ALVES, L. E MORET, M. A. **Modellus: Animação Interativas mediando a Aprendizagem Significativa dos Conceitos de Física no Ensino Médio**. Revista Científica da escola de administração do exército, v. 2, p. 88-108, 2006. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/SSCF/article/view/SSCF-v.2-A7>. Acesso em 13 de agosto de 2021.

SOARES, D. **Os fundamentos físico-matemáticos da cosmologia relativista**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 3, p. 3302, 2013. Disponível em: [cielo.br/j/rbef/a/vKtj3KVj7fCdhfkqJP8NY3H/?format=pdf&lang=pt#:~:text=O%20principio%20cosmol%C3%B3gico%20\(PC\)%20-,ma-%20tem%C3%A1ticos%20da%20cosmologia%20relativista.&text=Colocado%20de%20outra%20forma%2C%20a,%C3%A7ao%20de%20Eins-%20tein](http://cielo.br/j/rbef/a/vKtj3KVj7fCdhfkqJP8NY3H/?format=pdf&lang=pt#:~:text=O%20principio%20cosmol%C3%B3gico%20(PC)%20-,ma-%20tem%C3%A1ticos%20da%20cosmologia%20relativista.&text=Colocado%20de%20outra%20forma%2C%20a,%C3%A7ao%20de%20Eins-%20tein). Acesso em: 23 de agosto de 2021.

WIEMAN, C. E.; W. ADAMS, P. LOEBLEIN, A. D.; K. K. PERKINS, **The Physics Teacher** 48, 2010.

SOUZA, O. F.; et. al.; **Simulações PhET: a teoria aliada à prática experimental nas aulas de química**. Disponível em: <https://periodicos.unemat.br/index.php/zeiki>. Acesso em: 06 ago. 2021.

VISUALIZAÇÃO DAS DIFERENÇAS NUMÉRICAS ENTRE AS ALTITUDES NORMAL E ORTOMÉTRICA NO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL - ESTUDO DE CASO

Data de aceite: 01/11/2021

Roosevelt De Lara Santos Jr

Universidade Federal do Rio Grande do Sul /
IGEO/Departamento de Geodésia
Porto Alegre - RS – Brasil
<https://orcid.org/0000-0003-4390-8636>

RESUMO: Em 2018 o IBGE adotou como referência altimétrica o quasegeoide e a relacionada altitude normal. A nova superfície de referência é determinada através do uso dos números geopotenciais calculados a partir das redes altimétrica e gravimétrica de precisão. O novo sistema altimétrico substitui o antigo sistema referido ao geoide e a respectiva altitude ortométrica. O presente estudo consiste na apresentação de uma metodologia concisa e simples ao usuário do SGB, através do uso exclusivo das informações disponíveis no BDG (IBGE), que possibilite ao mesmo estimar as diferenças numéricas entre altitudes normais e altitudes ortométricas, ou seja, a separação geoide-quasegeoide, analisar e projetar as necessidades de adaptação do referencial altimétrico antigo, o geoide, para o referencial altimétrico atual, o quasegeoide, em uma dada região geográfica, no caso abordado neste trabalho, a área abrangida pelo o estado do Mato Grosso do Sul. O resultado alcançado é promissor, pois, confirma os dados de ajustamento da rede altimétrica de precisão do SGB realizados pelo IBGE.

PALAVRAS-CHAVE: Altitudes científicas,

separação geoide-quasegeoide, referências altimétricas.

VISUALIZATION OF NUMERICAL DIFFERENCES BETWEEN NORMAL AND ORTHOMETRIC HEIGHTS IN THE STATE OF MATO GROSSO DO SUL - CASE STUDY

ABSTRACT: In 2018, the IBGE adopted the quasi-geoid and the related normal height as an altimetric reference. The new reference surface is determined through the use of geopotential numbers calculated from the altimetric and gravity grids of precision. The new altimetric system replaces the old system referring to the geoid and its orthometric height. The present study consists of the presentation of a concise and simple methodology to the SGB user, through the exclusive use of information available in the BDG (IBGE), which makes it possible to estimate the numerical differences between normal and orthometric heights, that is, the separation geoid-quasi-geoid, analyze and project the adaptation needs of the old altimetric reference, the geoid, for the current altimetric reference, the quasi-geoid, in a given geographic region, in the case addressed in this work, the area covered by the state of Mato Grosso do Sul. The result achieved is promising, as it confirms the adjustment data of the SGB's altimetric precision network carried out by IBGE.

KEYWORDS: Scientific heights, geoid-quasigeoid separation, altimetric references.

1 | INTRODUÇÃO

Segundo IBGE (2019), o Sistema Geodésico Brasileiro - SGB é a referência para o posicionamento de alta precisão no Território Nacional. Para o posicionamento vertical, como no caso do estabelecimento de canais de irrigação e transposição de águas entre bacias hidrográficas, entre outros exemplos, a referência é dada pelas estações da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Sistema, denominadas Referências de Nível (RRNN). A medida que novas linhas de nivelamento são agregadas à Rede e novas técnicas de medição e processamento são desenvolvidas, as altitudes de suas referências de nível são periodicamente recalculadas, por meio do tradicional ajustamento por mínimos quadrados. Assim procedendo, o IBGE visa garantir a integridade, a consistência e a confiabilidade das informações divulgadas no seu Banco de Dados Geodésicos - BDG.

Os elementos principais de um Sistema Geodésico de Referência Vertical (SGRV) são as coordenadas verticais – as altitudes físicas ou números geopotenciais das estações da rede de referência – e a superfície de referência, ou nível de referência, a partir do qual são estabelecidas as coordenadas verticais (IHDE et al., 2017). Tradicionalmente, a definição e a realização dos SGRVs continentais e nacionais baseava-se na adoção do Nível Médio do Mar (NMM) como *datum* vertical, representando uma aproximação adequada do geoide, e na utilização exclusiva do nivelamento geométrico de alta precisão, com a correção da gravidade normal (teórica), para propagação desse *datum* em toda a região de interesse. Assim foi estabelecida a componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro - SGB.

Tendo em vista a adoção no Brasil da altitude normal através do IBGE (IBGE,2018), e considerando seu cálculo a partir dos números geopotenciais e suas associações às altitudes ortométricas e consequente relacionamento ao nível zero, que reflete em termos práticos a qualidade ou precisão do geoide local atual, conduz então, dentro de uma análise mais rigorosa às altitudes ortométricas-normais.

Conforme De Lara (2017), na tarefa de modelagem da Terra pela Geodésia, são utilizadas diversas superfícies de referência, tradicionalmente, a superfície terrestre, o geoide e o elipsoide. Com o avanço tecnológico nas Geodésia Física e Geodésia Espacial, durante as últimas décadas, vem se registrando o crescimento em importância teórica e prática com relação à outras superfícies de referência, tais como, o teluróide (Hirvonen 1960), quasegeoide (Molodenskii 1945) e cogeioide, bem como seus relacionamentos às referidas superfícies de referência convencionais. Na figura 1 observamos a superfície física da Terra (e proximidades), sobre a qual são realizados ou referidos os levantamentos geodésicos, o geoide representando a superfície de referência em relação ao campo de gravidade, o elipsoide responsável pela modelagem matemática da Terra. A distância entre o geoide e a superfície terrestre contada sobre a vertical é a altitude ortométrica, analogamente em relação ao elipsoide e a normal temos a altitude elipsoidal. A altura geoidal

representa a separação geóide-elipsoide. De maneira simplificada podemos entender o telúroide como sendo a superfície na qual o valor do potencial normal em um ponto é igual ao geopotencial de seu respectivo homólogo localizado na superfície terrestre. De acordo com Hirvonen a distância sobre a normal entre o telúroide e a superfície terrestre é denominada anomalia de altitude. Similarmente, com a teoria de Molodenskii, a anomalia de altitude pode ser representada como a distância sobre a normal entre o elipsoide e o quasegeóide. O cogeóide, está relacionado ao efeito indireto e o conseqüente potencial perturbador (Heiskanen et Moritz, 1957; Gemael, 1999).

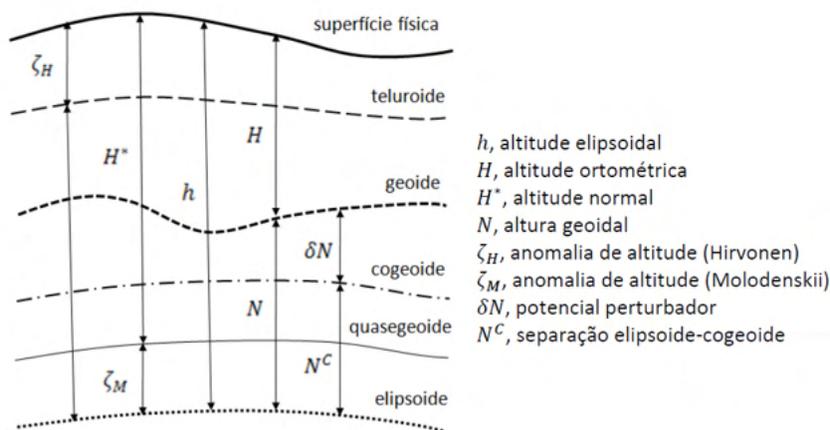


Figura 1 – Principais superfícies de referência em Geodésia (baseado em De Lara, 2017).

Da figura 1 podem-se extrair as seguintes aproximações uma vez que as superfícies de referência (física, geóide, elipsoide e quasegeóide), não são necessariamente paralelas:

$$h \cong H + N \quad (1)$$

$$h \cong H^* + \zeta \quad (2)$$

Operando as equações 1 e 2 temos como resultado a Separação Geóide-Quasegeóide (SGQ), a qual representa em termos práticos, a diferença numérica entre as altitudes normal e ortométrica. O detalhamento e as diversas implicações teóricas inerentes a completa dedução da equação 3 encontram-se disponíveis em Sjöberg (2010):

$$SGQ = N - \zeta = H^* - H \quad (3)$$

As equações 4 e 5, apresentam o cálculo das altitudes ortométrica e normal respectivamente a partir dos valores médios das gravidades: medidas (\bar{g}) e normais calculadas ($\bar{\gamma}$) e do número geopotencial (C):

$$H = C/\bar{g} \quad (4)$$

$$H^* = C/\bar{\gamma} \quad (5)$$

$$C = H^*\bar{\gamma} = H\bar{g} \quad (6)$$

Para o cálculo da gravidade normal pode-se utilizar a fórmula Somigliana (Moritz, 1980):

$$\gamma = (ay_e \cos^2 \varphi + by_p \sin^2 \varphi)/(a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi) \quad (7)$$

onde,

y , gravidade normal

a , semi-eixo maior

b , semi-eixo menor

y_e , gravidade normal no equador

y_p , gravidade normal no pólo

φ , latitude geodésica

O objetivo do presente estudo consiste na apresentação de uma metodologia concisa e simples ao usuário do SGB, através do uso exclusivo das informações disponíveis no BDG (IBGE), que possibilite ao mesmo estimar as diferenças numéricas entre altitudes normais e altitudes ortométricas, ou seja, a separação geoide-quasegeoide, analisar e projetar as necessidades de adaptação do referencial altimétrico antigo, o geoide, para o referencial altimétrico atual, o quasegeoide, em uma dada região geográfica, no caso abordado neste trabalho, a área abrangida pelo o estado do Mato Grosso do Sul.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Em concordância à proposta do presente trabalho, foram utilizados somente dados altimétricos, gravimétricos e espaciais disponíveis no Banco de Dados Geodésicos (BDG) acessados em IBGE(2021). A figura 2 apresenta as redes altimétrica e gravimétrica de precisão mantida pelo IBGE em nível nacional.

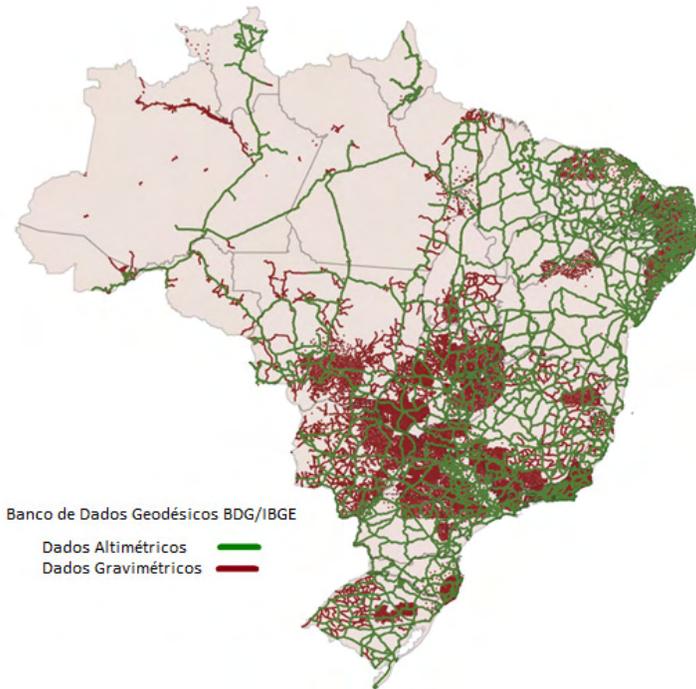


Figura 2 – Abrangência nacional dos dados altimétricos e gravimétricos do BDG/IBGE (BDG, 2021).

A escolha da área teste para o presente estudo de caso, se deu a partir da análise em termos de densidade e distribuição das redes altimétrica e gravimétrica nas unidades da federação (figura 1), optando-se pelo estado do Mato Grosso do Sul em função distribuição das estações gravimétricas e RRNN, bem como, da homogeneidade e cobertura das referidas redes na maior parte do território estadual, com a devida baixa na região noroeste em função da ocorrência da zona pantaneira, conforme apresentado na figura 3.

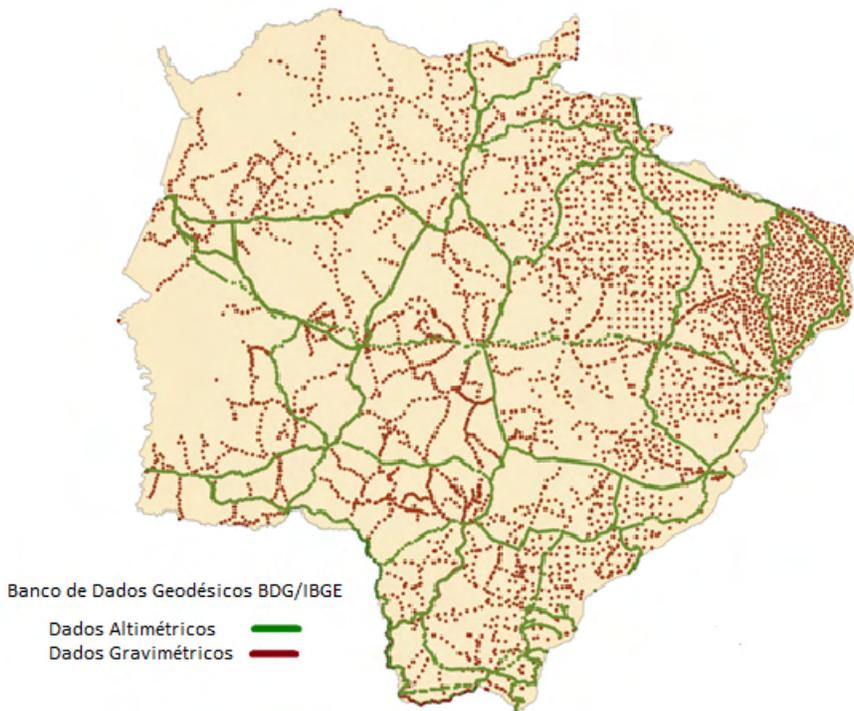


Figura 3 – Dados altimétricos e gravimétricos no BDG/IBGE disponíveis no Mato Grosso do Sul (BDG, 2021).

Os dados utilizados a partir do BDG foram: altitude normal, altitude ortométrica, número geopotencial, longitude e latitude. Tendo em vista que estes dados não são comuns para todas as estações e RRNN, utilizando as fórmulas 4, 5, 6 e 7 foi gerado um arquivo contendo 402 pontos (entre estações gravimétricas e RRNN), o qual, serviu de base para o cálculo das diferenças numéricas entre as altitudes normal e ortométrica (ou separação geóide-quasegeóide - SGQ) no estado do Mato Grosso do Sul, utilizando a fórmula 3. Ao vetor das SGQs foram aplicadas estatísticas (média, desvios, desvio padrão, variância, amplitude da amostra), permitindo avaliar a precisão do vetor SGQ calculado. Considerando as possíveis interrelações das diversas fontes de dados foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson para análise correlacional entre duas variáveis. A fórmula (8) foi utilizada para o cálculo do coeficiente de correlação linear de Pearson:

$$\rho = cov(X, Y) / \sqrt{var(X) \cdot var(Y)} \quad (8)$$

A análise correlacional indica a relação entre 2 variáveis lineares e os valores sempre serão entre +1 e -1. O sinal indica a direção, se a correlação é positiva ou negativa, e o tamanho da variável indica a força da correlação. Cabe observar que, como o coeficiente é concebido a partir do ajuste linear, então a fórmula não contém informações do ajuste, ou

seja, é composta apenas dos dados (Gibbons,1985).

3 | RESULTADOS E ANÁLISE

Em atendimento ao objetivo principal do presente estudo, a visualização das diferenças numéricas entre as altitudes normal e ortométrica (ou separação geóide-quasegeóide - SGQ) no estado do Mato Grosso do Sul. Primeiramente foi elaborado um mapa altimétrico utilizando as altitudes ortométricas (figura 4), posteriormente foi elaborado o mapa de SGQs (figura 5). Estes dois mapas permitem a análise visual regional das elevações em termos de altitude normal-ortométrica, bem como, visualizar sua variação em termos do novo sistema altimétrico referido ao quase-geóide e as respectivas altitudes normais. As estatísticas aplicadas (resumidas na figura 6) mostraram que o vetor SGQ tem média da ordem de $-0,010$ m (o que pode ser interpretado como não tendencioso), e sua precisão atribuída pelo respectivo desvio padrão da ordem de $0,0165$ m, a amplitude de variação das SGQs é da ordem de $0,0765$ m. O histograma de distribuição de frequências (figura 7) mostra que a maior concentração dos pontos testados (231 entre 402) tem variação entre $\pm 0,004$ m. Confrontando as figuras 4 e 5, podemos relacionar às maiores SGQs às maiores altitudes o que é comprovado estatisticamente pela alta correlação linear ($-96,09\%$) conforme apresentado na figura 6. Tendo em vista as questões isostáticas foram calculados os coeficientes de correlação entre as SGQs e os valores de gravidade resultando em $26,09\%$, assumido como moderado no presente estudo, similarmente os coeficientes de correlação entre SGQs e as altitudes normais e ortométricas resultando em $-16,96\%$. Por fim, a figura 8, apresenta a concordância entre os resultados apresentados pelo IBGE (2019) e o presente estudo.

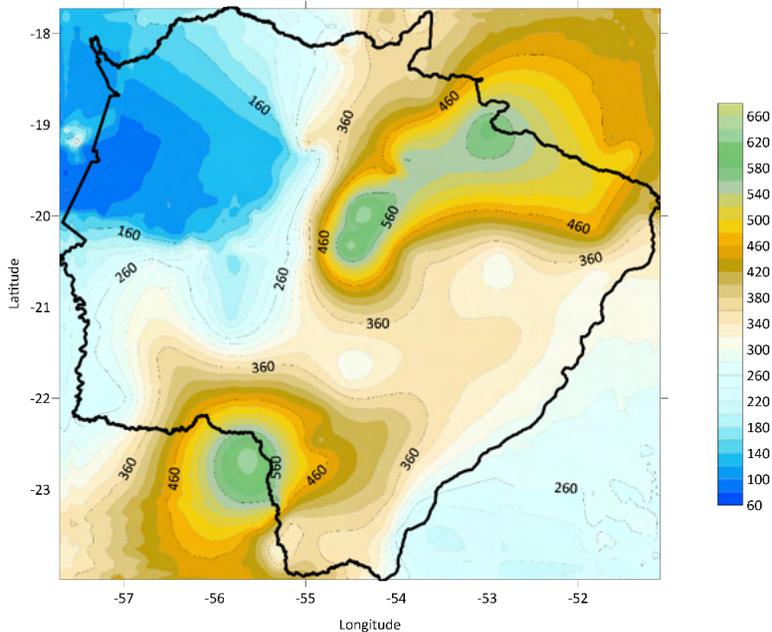


Figura 4 – Altimetria (m) do estado do Mato Grosso do Sul utilizando dados do BDG/IBGE (autoria própria).

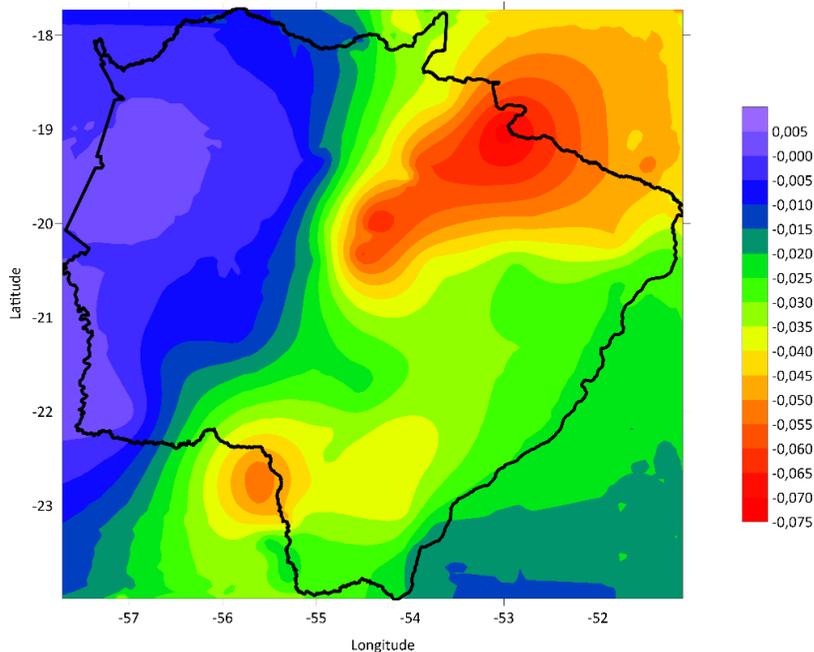


Figura 5 – Visualização das diferenças numéricas (m) entre as altitudes normal e ortométrica no estado do Mato Grosso do Sul utilizando dados altimétricos e gravimétricos do BDG/IBGE (autoria própria).

Estatísticas Aplicadas	Resultados
Média (m)	-0,0107
Desvio Padrão (m)	0,0165
Variância (m ²)	0,0003
Desvio mínimo (m)	-0,0730
Desvio máximo (m)	0,0035
CC (Altitude Ortométrica x Diferenças de Altitudes)	-0,9609
CC (Altitude Normal x Diferenças de Altitudes)	-0,9609
CC (Gravidade Local x Diferenças de Altitudes)	0,2609
CC (Gravidade Local x Altitude Ortométrica)	-0,1696
CC (Gravidade Local x Altitude Normal)	-0,1696

CC=Coefficiente de Correlação Linear de Pearson

Figura 6 – Quadro resumo das estatísticas.

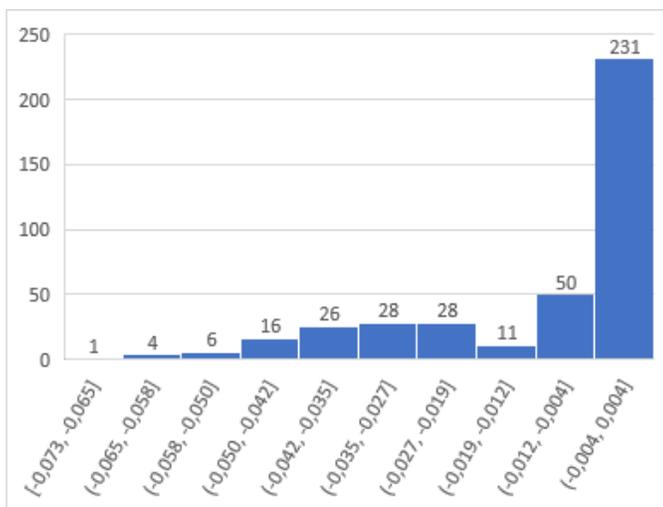


Figura 7 - Histograma das distribuições de frequência e as variações numéricas entre as altitudes normal e ortométrica (m).

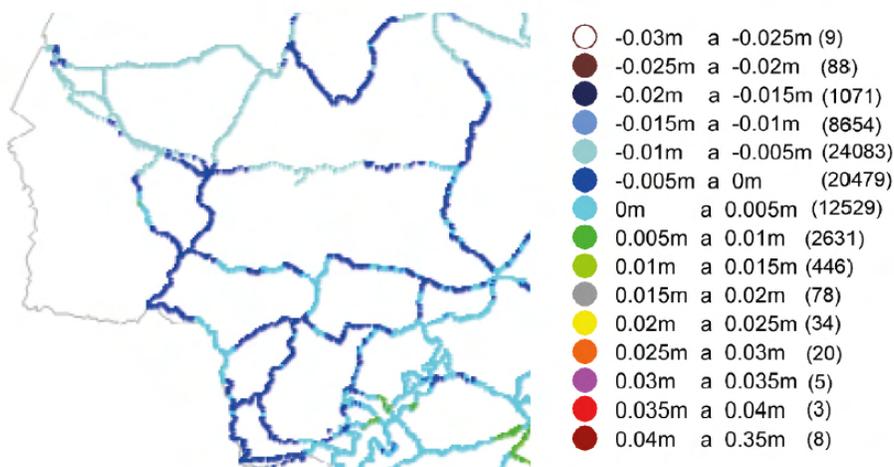


Figura 20 - Diferenças entre as altitudes normais do REALT 2018 e as altitudes ortométricas-normais calculadas com a mesma rede

Figura 8 – Extrato da figura 20 em IBGE (2019).

4 I CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Tendo como base os resultados alcançados na presente pesquisa, conclui-se o pleno êxito da metodologia proposta e aplicada. O usuário do SGB via BDG/IBGE tem mais um caminho, visando por exemplo, a densificação de redes altimétricas de precisão ou de atendimentos específicos, como nos casos das engenharias e os responsáveis por planejamentos administrativos regionais. Sugere-se a aplicação desta metodologia à outras regiões e implementações de ajustamentos mais complexos.

REFERÊNCIAS

DE LARA, R. **Efeito da variação do valor da densidade lateral relacionada à separação geóide-quasegeóide na região de Porto Alegre RS – Estudo de Caso**. IV Simpósio Brasileiro de Geomática – SBG2017 II Jornadas Lusófonas - Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica - CTIG2017 Presidente Prudente - SP, 24-26 de julho de 2017 p. 470-473.

DE LARA, R. et al. **Separação geóide-quasegeóide (SGQ) e sua variação em função do valor da densidade lateral no município de Porto Alegre – RS**. Revista SODEBRAS, V.16, n.180, dezembro, 2020, p. 88-94.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Curitiba: Editora da UFPR. 1999. 302p.

GIBBONS, J.D. **Nonparametric Statistical Inference**. 2nd ed. M. Dekker, 1985.

HEISKANEN W.A. et MORITZ, H. **Physical Geodesy**. A series of books in geology. Freeman. 1957.

IBGE. **Reajustamento da rede altimétrica com números geopotenciais 2018**. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>

IBGE. **Reajustamento da rede altimétrica com números geopotenciais 2019**. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>

IBGE. **Banco de Dados Geodésicos (BDG)**, 2021. Acesso em <http://www.bdg.ibge.gov.br/appbdg/>

IHDE, J.; Sanchez, L.; BARZAGHI, R.; DREWES, H.; FOERSTE, C.; GRUBER, T.; LIEBSCH, G.; MARTI, U.; PAIL, R.; SIDERIS, M. **Definition and proposed realization of the International Height Reference System (IHR)**. *Surveys in Geophysics*, Heidelberg: Springer-Verlag, v. 38, n. 3, p. 549-570, Maio. 2017.

MORITZ, H. **Geodetic Reference System 1980**. *Bulletin Géodésique*, v.54, 1980. 395-405p.

SJÖBERG, L.E. **A strict formula for geoid-to-quasigeoid separation**. *Journal of Geodesy*. Springer-Verlag. v.84. 2010. 699-702p.

SOBRE O ORGANIZADOR

FRANCISCO ODÉCIO SALES - Bacharel em Matemática pela Universidade Federal do Ceará (2008) onde foi monitor de Cálculo Diferencial e Integral (2005) e bolsista de Iniciação Científica (PIBIC) financiado pelo CNPq (2005-2008) desenvolvendo pesquisa na área de Geometria Diferencial, com ênfase em Superfícies Mínimas e Equações Diferenciais Aplicadas. Licenciado Pleno em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (2009). Especialista em Ensino de Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (2015). Mestre em Matemática pela Universidade Estadual do Ceará (2019). Especialista em Docência na Educação Profissional, Científica e tecnológica pelo Instituto Federal do Ceará (2020). Foi professor da rede pública estadual do Ceará entre 2009 e 2019, atuando no magistério do ensino fundamental e médio. Atuou entre 2013 e 2016 como Assessor Pedagógico na Secretaria de Educação do Ceará (SEDUC/CE) onde coordenou projetos relacionados a educação Financeira, Educação Fiscal, Educação Científica e Formação de Professores. Representou o Ceará nas reuniões iniciais para implementação da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) na área de Matemática. Professor tutor da Universidade Aberta do Brasil (UAB/IFCE) desde de 2010 atuando na Licenciatura Plena em Matemática. Atualmente é Professor de Educação Básica, técnica e tecnológica (EBTT) do Instituto Federal do Ceará (IFCE) atuando nas licenciaturas em Matemática e Física. Tem experiência na área de Matemática, com ênfase em Geometria Diferencial. Coordena o Polo Olímpico de Treinamento Intensivo (POTI) de Crateús e o Projeto de Intervenção em Matemática (PIM). Atua nas seguintes frentes de pesquisa: Superfícies Mínimas, Geometria não euclidiana, Olimpíadas de Matemática e Equações Diferenciais Aplicadas. É membro do Laboratório de Ensino de Ciências Naturais, Matemática e Música (IFCE Campus Crateús), do Grupo de Pesquisa em Matemática e Educação Matemática do IFCE e Professor Coordenador do Grupo de Pesquisa e Estudos em Ensino de Matemática do Ceará - GEPEMAC (em reconhecimento pelo CNPq). Orientador de Graduação e pós graduação (Monografia e TCC). Membro do corpo editorial das editoras Atena, DINCE e InVivo e da Revista Clube dos Matemáticos. Autor de livros na área de Matemática e Educação.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alternative Energy Sources 82, 83

Altitudes científicas 174

Aprendizagem 35, 41, 98, 99, 101, 103, 104, 105, 110, 113, 128, 134, 137, 138, 163, 164, 165, 166, 168, 170, 172, 173

Aulas práticas 108, 110, 111

AWE 82, 83, 84, 85, 86, 87, 93, 94

B

Biological material 1

C

Caracterização geológica 115

Celulose bacteriana 80, 139, 140, 141, 142, 147, 148, 150

Classificação de tráfego 30, 31, 33, 40, 41

Cl concentration 1, 4

Composição química 17, 167

Compósitos 69, 71, 72, 73, 76, 77, 78

Controle 1, 5, 7, 8, 9, 12, 14, 17, 20, 26, 31, 42, 137, 138, 151, 161

D

Detritos espaciais 5, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 158, 160, 161, 162

Docência 108, 109, 185

E

Educação básica 128, 129, 185

Educação superior 97

EDXRF 1, 2, 3, 4

Environmentally Sound Technologies 82, 83

Estabilidade 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 44, 71

Experimentação 128, 134, 135

F

Farinha de bagaço de mandioca 69, 72, 74, 80

Fontes nutricionais 140, 145

G

Geociências 108

I

INAA 1, 2, 3

Incremento de velocidade 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 62, 64, 65, 66, 67

Intervenção 97, 98, 99, 102, 103, 104, 105, 106, 167, 185

K

Komagataeibacter hansenii 140, 141, 149

L

Legislação 17, 22, 151, 156

M

Manobra orbital 53, 54, 55, 66, 67

Mata Ciliar 43, 47, 48, 52

Mensuração 43, 166

Metais pesados 17

Micronutrientes minerais 17, 21, 22, 23, 26

MLP 30, 31, 32, 33, 35, 40

Modelos atômicos 163, 167, 168, 170, 171, 172

Monitor 3, 4, 88, 108, 109, 110, 113, 114, 185

Morfologia 115

P

Polipropileno 69, 71, 72, 76, 77, 78

Produção 1, 19, 25, 26, 70, 79, 81, 105, 134, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 153, 156

Propriedades mecânicas 69, 71, 76, 77, 78, 141

Psicologia social 97, 98, 99, 100, 101, 102, 106, 107

R

Reconstrução paleoclimática 115

Redes definidas por software 30, 31, 41, 42

Redes neurais artificiais 30

Referências altimétricas 174

Resíduos recorrentes 151

S

Separação geoide-quasegeoide 174, 176, 177, 179, 180, 183

Sequência didática 138, 163, 168, 170, 172

Simulador PhET 163, 165, 167, 168, 169, 172

Sistemas ligados por cabos 5, 6

Suplementos 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28

Sustainability 82, 95

T

Transferência de órbita 53

Tukey 43, 44, 45, 50, 51

U

Utilização industrial 139, 140

W

Whey protein 17, 18, 19, 20, 26, 27, 28, 29

Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares

das ciências exatas e da terra

2

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares

das ciências exatas e da terra

2