

AS CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA NO SÉCULO XXI 2



JÚLIO CÉSAR RIBEIRO
CARLOS ANTÔNIO DOS SANTOS
(ORGANIZADORES)

 **Atena**
Editora
Ano 2019

Júlio César Ribeiro
Carlos Antônio dos Santos
(Organizadores)

As Ciências Exatas e da Terra no Século XXI 2

Atena Editora
2019

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



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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Ciências Biológicas e da Saúde

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

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

C569 As ciências exatas e da terra no século XXI [recurso eletrônico] :
volume 2 / Organizadores Júlio César Ribeiro, Carlos Antônio
dos Santos. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-85-7247-680-5
DOI 10.22533/at.ed.805190710

1. Ciências exatas e da terra – Pesquisa – Brasil. I. Ribeiro, Júlio
César. II. Santos, Carlos Antônio dos. III. Série.

CDD 507

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

APRESENTAÇÃO

A obra “As Ciências Exatas e da Terra no Século XXI,” que encontra-se em seu segundo volume, foi idealizada para compilar trabalhos que demonstrassem os novos desdobramentos da pesquisa científica no século XXI. Em seus 24 capítulos, procura-se apresentar a obra discutindo questões alinhadas a eixos temáticos, como agricultura, engenharia, educação, estatística e tecnologias, havendo também espaço para perspectivas multidisciplinares apartir de trabalhos que permeiam diferentes segmentos da grande área. Na primeira parte da obra, que trata sobre agricultura, são apresentados estudos relacionados à fertilidade do solo, precipitação pluviométrica, necessidade hídrica de plantas, estudos fitoquímicos, recuperação, reuso e restauração de áreas degradadas, dentre outros. Na segunda parte, são abordados estudos sobre gerenciamento de resíduos da construção civil, uso do sensoriamento remoto, e comparação entre diferentes métodos de nivelamento.

Na terceira parte, estão agrupados trabalhos que envolvem vertentes econômicas, experiências educacionais, e uso da realidade virtual no processo de aprendizagem.

Na quarta e última parte, são contemplados estudos acerca de questões tecnológicas, envolvendo linguagem estatística, e aplicação de moedas digitais.

Com grande relevância, os trabalhos aqui apresentados estarão disponíveis ao grande público e colaborarão para a difusão de conhecimentos no âmbito técnico e acadêmico.

Os organizadores e a Atena Editora agradecem pelo empenho dos autores que não mediram esforços ao compartilhar, em sua melhor forma, os resultados de seus estudos por meio da presente obra. Desejamos que as informações difundidas por meio desta obra possam informar e provocar reflexões significativas, contribuindo para o fortalecimento desta grande área e de suas vertentes.

Júlio César Ribeiro

Carlos Antônio dos Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 1

DISPONIBILIDADE DE ZN EM SOLOSSUPER ADUBADOS EM ÁREAS DE AGRICULTURA FAMILIAR

Ingrid Luciana Rodrigues Gomes
Maria Tairane Silva
Idamar da Silva Lima
Airon José da Silva
Carlos Alexandre Borges Garcia
Silvânio Silvério Lopes da Costa
Marcos Cabral de Vasconcellos Barreto

DOI 10.22533/at.ed.8051907101

CAPÍTULO 2 9

ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO IRRIGADO COM DILUIÇÕES DE ÁGUA PRODUZIDA TRATADA EM CASA DE VEGETAÇÃO

Ricardo André Rodrigues Filho
Rafael Oliveira Batista
Ana Beatriz Alves de Araújo
Juli Emille Pereira de Melo
Rayane Alves de Arruda Santos
Ana Luiza Veras de Souza
Antônio Diego da Silva Teixeira
Emmila Priscila Pinto do Nascimento
Taís Mendonça da Trindade
Wellyda Keorle Barros de Lavôr
Igor Apolônio de Oliveira
Elioneide Jandira de Sales

DOI 10.22533/at.ed.8051907102

CAPÍTULO 3 24

DETERMINAÇÃO RÁPIDA DE MN, ZN, FE E MG EM MELADO DE CANA POR ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA COM CHAMA (F AAS)

Suelen Andolfatto
Camila Kulek de Andrade
Maria Lurdes Felsner

DOI 10.22533/at.ed.8051907103

CAPÍTULO 4 36

COMPARAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE 12 CIDADES PARAENSES

Whesley Thiago dos Santos Lobato
Antonio Maricélio Borges de Souza
Maurício Souza Martins
Luã Souza de Oliveira
Bruno Maia da Silva
Maria Sidalina Messias de Pina
Daniella Amor Cunha da Silva
Antonio Elson Ferreira Borges
Arthur da Silva Monteiro
Lucas Guilherme Araujo Soares
Caio Douglas Araújo Pereira
Lívia Tálita da Silva Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.8051907104

CAPÍTULO 5 48

NECESSIDADES HÍDRICAS E ÍNDICES DE CRESCIMENTO DA CULTURA DO GERGELIM (*SESAMUM INDICUM L.*) BRS ANAHÍ IRRIGADO

Isaac Alves da Silva Freitas
José Espínola Sobrinho
Anna Kézia Soares de Oliveira
Ana Beatriz Alves de Araújo
Roberto Vieira Pordeus
Poliana Marias da Costa Bandeira
Priscila Pascali da Costa Bandeira
Tecla Ticiane Félix da Silva
Fernanda Jéssika Carvalho Dantas
Alcimar Galdino de Lira
Alricélia Gomes de Lima
Kadidja Meyre Bessa Simão

DOI 10.22533/at.ed.8051907105

CAPÍTULO 6 58

APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS EM EMPRESAS DO SETOR AGROFLORESTAL

Robert Armando Espejo
Rildo Vieira de Araújo
Michel Constantino
Reginaldo Brito da Costa
Paula Martin de Moraes
Vanessa Aparecida de Moraes Weber
Fabricio de Lima Weber
Fabiano Dotto

DOI 10.22533/at.ed.8051907106

CAPÍTULO 7 68

ECOPRODUÇÃO DE PAPEL A PARTIR DE RESÍDUOS TÊXTEIS: PROPOSTA E AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE SIMBIOSE INDUSTRIAL

Júlia Terra Miranda Machado
Lilian Bechara Elabras Veiga
Maria Gabriela von Bochkor Podcameni

DOI 10.22533/at.ed.8051907107

CAPÍTULO 8 81

ESTUDO TEÓRICO SOBRE COMO REALIZAR UM PROCESSO DE OBTENÇÃO DE MELADO DE ALGAROBA (*PROSOPIS JULIFLORA SW DC*)

Karina da Silva Falcão
Alan Henrique Texeira
Clóvis Gouveia da Silva
Mirela Mendes de Farias
Zildomar Aranha de Carvalho Filho

DOI 10.22533/at.ed.8051907108

CAPÍTULO 9 89ESTUDO QUÍMICO E FARMACOLÓGICO DE *ARTOCARPUS ALTILIS* (PARKINSON) FOSBERG

Alice Joana da Costa
Mônica Regina Silva de Araújo
Beatriz Dias
Christiane Mendes Feitosa
Renata Paiva dos Santos
Daniele Alves Ferreira
Felipe Pereira Silva de Araújo

DOI 10.22533/at.ed.8051907109**CAPÍTULO 10 101**ESTUDO FITOQUÍMICO DE *HYMENAEA COURBARIL* E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE TRIPANOCIDA

Breno Munic Sequeira
Romeu Machado Rocha Neto
Lúcio Gabriel Bocalon Flauzino
Daniele da Silva Ferreira
Lizandra Guidi Magalhães
Patrícia Mendonça Pauletti
Ana Helena Januário
Márcio Luis Andrade e Silva
Wilson Roberto Cunha

DOI 10.22533/at.ed.80519071010**CAPÍTULO 11 115**

ESTUDO SOBRE R&R PARA PRODUTOS DO LABORATÓRIO PILOTO DE QUÍMICA INDUSTRIAL

Karina da Silva Falcão
Lígia de Oliveira Franzosi Bessa
Manoel Teodoro da Silva
Renata Rayane da Silva Santana

DOI 10.22533/at.ed.80519071011**CAPÍTULO 12 123**SÍNTSE DE ORGÂNICA, INORGÂNICA E DE NANOMATERIAIS ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS:
UMA MINI REVISÃO

Jorddy Neves Cruz
Sebastião Gomes Silva
Fernanda Wariss Figueiredo Bezerra
Oberdan Oliveira Ferreira
Jose de Arimateia Rodrigues do Rego
Marcos Enê Chaves Oliveira
Daniel Santiago Pereira
Antonio Pedro da Silva Souza Filho
Eloisa Helena de Aguiar Andrade
Mozaniel Santana de Oliveira

DOI 10.22533/at.ed.80519071012

CAPÍTULO 13 132

PROJETO DE RECUPERAÇÃO, REUSO E RESTAURAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO DE AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO NO MUNICÍPIO DE MORRO REDONDO/RS

Thiago Feijó Bom
Pedro Andrade Coelho
Matheus Acosta Flores
Angélica Cirolini
Alexandre Felipe Bruch
Marciano Carneiro

DOI 10.22533/at.ed.80519071013

CAPÍTULO 14 145

AHP – PROPOSTA PARA APLICAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE RCC EM CANTEIROS DE OBRAS VERTICais E ALGUNS ASPETOS DIVERGENTES

Romão Manuel Leitão Carrapato Direitinho
José da Costa Marques Neto
Rodrigo Eduardo Córdoba

DOI 10.22533/at.ed.80519071014

CAPÍTULO 15 158

COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO, TRIGONOMÉTRICO E POR GNSS EM UMA RODOVIA

Kézia de Castro Alves
Francisca Vieira Nunes
Guilherme Ferreira Gonçalves
Fábio Campos Macedo
Pedro Rogério Giongo

DOI 10.22533/at.ed.80519071015

CAPÍTULO 16 166

USO DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL NO MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE MILHETO

Antônio Aldisio Carlos Júnior
Neyton de Oliveira Miranda
Jonatan Levi Ferreira de Medeiros
Suedêmio de Lima Silva
Paulo César Moura da Silva
Erllan Tavares Costa Leitão
Ana Beatriz Alves de Araújo
Priscila Pascali da Costa Bandeira
Poliana Maria da Costa Bandeira
Gleydson de Freitas Silva
Isaac Alves da Silva Freitas
Thaís Cristina de Souza Lopes

DOI 10.22533/at.ed.80519071016

CAPÍTULO 17 179

A EDUCAÇÃO BRASILEIRA E SUAS VERTENTES ECONÔMICAS

Gustavo Tavares Corte
Beatriz Valentim Mendes
Steven Dutt-Ross

DOI 10.22533/at.ed.80519071017

CAPÍTULO 18	189
SABERES INFORMAIS SOBRE CIÊNCIAS COMO PONTE PARA O CONHECIMENTO FORMAL	
Deíne Bispo Miranda	
Paulo Coelho Dias	
Maria Cristina Madeira Da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.80519071018	
CAPÍTULO 19	199
CLUBE DE CIÊNCIAS: RELATO DE EXPERIÊNCIAS E IMPRESSÕES DOS ALUNOS	
Teresinha Guida Miranda	
Alice Silau Amoury Neta	
Jussara da Silva Nascimento Araújo	
Danielle Rodrigues Monteiro da Costa	
Normando José Queiroz Viana	
Alessandra de Rezende Ramos	
DOI 10.22533/at.ed.80519071019	
CAPÍTULO 20	212
O USO DE REALIDADE VIRTUAL NO ENSINO DE CIÊNCIAS COMO FACILITADORA NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM: UMA ABORDAGEM NEUROCIENTÍFICA COGNITIVA NOS TEMAS DE CIÊNCIAS	
Welberth Stefan Santana Cordeiro	
Zara Faria Sobrinha Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.80519071020	
CAPÍTULO 21	222
CRIPTOMOEDAS E UMA APLICAÇÃO PARA MODELOS LINEARES HIPERBÓLICOS	
Lucas José Gonçalves Freitas	
Marcelo dos Santos Ventura	
DOI 10.22533/at.ed.80519071021	
CAPÍTULO 22	226
O TEOREMA DA COMPLETUDÉ	
Angela Leite Moreno	
Michele Martins Lopes	
DOI 10.22533/at.ed.80519071022	
CAPÍTULO 23	243
REGRESSÃO POLINOMIAL DE TERCEIRA ORDEM NA DEFORMAÇÃO DE ELÁSTICOS DE BORRACHA	
Thales Cerqueira Mendes	
Yasmim Brasileiro de Castro Monteiro	
Luana da Silva Souza	
Lívia Nildete Barauna dos Santos	
Ester Vitória Lopes dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.80519071023	

CAPÍTULO 24 254

PICTOGRAMA: ELABORAÇÃO EM LINGUAGEM R

Willian Alves Lion
Beatriz de Oliveira Rodrigues
Felipe de Melo Taveira
Flávio Bittencourt
Adriana Dias

DOI 10.22533/at.ed.80519071024

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 265**ÍNDICE REMISSIVO** 266

DISPONIBILIDADE DE Zn EM SOLOS SUPER ADUBADOS EM ÁREAS DE AGRICULTURA FAMILIAR

Ingrid Luciana Rodrigues Gomes

Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Agronômica
São Cristóvão – Sergipe.

Maria Tairane Silva

Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Florestal
São Cristóvão – Sergipe.

Idamar da Silva Lima

Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Agronômica
São Cristóvão – Sergipe.

Airon José da Silva

Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Agronômica
São Cristóvão – Sergipe.

Carlos Alexandre Borges Garcia

Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Química
São Cristóvão – Sergipe.

Silvânio Silvério Lopes da Costa

Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Petróleo, Gás e Biocombustíveis
São Cristóvão – Sergipe.

Marcos Cabral de Vasconcellos Barreto

Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Engenharia Agronômica
São Cristóvão – Sergipe.

RESUMO: A análise do solo é uma ferramenta importante para avaliar a quantidade disponível dos nutrientes para as plantas e elementos potencialmente tóxicos. O presente trabalho estudou a disponibilidade de zinco em amostras de solos com altos e baixos teores de fósforo, verificando sua disponibilidade para plantas. Foram selecionadas vinte e seis amostras de solos coletadas em áreas de agricultura familiar. Todas as amostras utilizadas resultam da mistura de doze a quinze amostras simples. Teores de P foram obtidos à partir da extração com Mehlich-1. A determinação dos teores de Zn ocorreu com os extratores Mehlich-1 e ácido cítrico 1%. Utilizou-se para leitura um espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES). No solo as concentrações de P variaram de 1,0 a 575 mg dm⁻³ e de Zn foram de 1,2 a 23,1 mg dm⁻³ e de 0,1 a 21,8 mg dm⁻³, extraídos com Mehlich-1 e ácido cítrico, respectivamente. Observou-se correlação positiva entre os teores de P e Zn em Mehlich-1. Os teores de zinco no solo correlacionam-se ainda, entre si, com os extratores Mehlich-1 e ácido cítrico. Os resultados obtidos sugerem que os altos teores de fósforo no solo ocasionaram a ocorrência de elevados teores de zinco extraíveis.

PALAVRAS-CHAVE: perímetro irrigado, nutrição de plantas, fósforo.

ABSTRACT: Soil analysis is an important tool for evaluate the amount of plant nutrients available and potentially toxic elements. The present study shows the availability of zinc in soil samples with high and low levels of phosphorus, verifying their availability to plants. Twenty-six soil samples were collected from family farming areas. All samples used result from the mixing of twelve to fifteen simple samples. P values were obtained from the extraction with Mehlich-1. The determination of Zn contents occurred with Mehlich-1 extractors and 1% citric acid. An inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP OES) was used for reading. The soil concentrations of P varied from 1.0 to 575 mg dm⁻³ and Zn were 1.2 to 23.1 mg dm⁻³ and from 0.1 to 21.8 mg dm⁻³, extracted with Mehlich -1 and citric acid, respectively. A positive correlation was observed between the contents of P and Zn in Mehlich-1. The levels of zinc in the soil are also correlated with the Mehlich-1 and citric acid extractors. The results suggest that the high levels of phosphorus in the soil caused the occurrence of high levels of extractable zinc.

KEYWORDS: irrigated perimeter, plant nutrition, phosphorus.

1 | INTRODUÇÃO

A agricultura familiar no Brasil possui papel fundamental na produção de alimentos consumido pela população (BAIARDI e ALENCAR, 2014). No estado de Sergipe, a atividade econômica é influenciada pela agricultura familiar, onde se destaca na região agreste do estado, a cidade de Itabaiana e municípios vizinhos, com a produção de frutas e hortaliças (CURADO et al., 2008). Devido essa importância, as áreas de cultivo necessitam de atenção quanto aos atributos químicos e físicos do solo.

Um dos grandes problemas que o meio ambiente enfrenta é a contaminação do solo ou da água por elementos potencialmente tóxicos, seja ocasionada por resíduos industriais ou agrícolas (MAGALHÃES et al., 2008). Na agricultura, o enriquecimento do solo pode acontecer pelo uso excessivo e frequente de insumos agrícolas, sejam pesticidas, adubos minerais, corretivos, entre outros (BALASTREIRE, 2000). Daí decorre a necessidade do monitoramento químico das terras agrícolas não apenas para fins de adubação, mas também para monitoramento ambiental.

A análise do solo é uma ferramenta importante para avaliar a quantidade disponível dos nutrientes para as plantas e elementos potencialmente tóxicos. Sem este conhecimento, a adubação se torna irracional (MATTOS e MARTINS, 2009). Em pequenas propriedades, a análise do solo é realizada apenas para cumprimento de protocolo, visando o financiamento para agricultura familiar, e não para ações corretivas e preventivas de manejo. O uso correto dos dados de análise do solo pode gerar economia de insumos, além de evitar problemas ambientais (SANTANA, 2005).

No estado de Sergipe estão sendo observados altos teores de fósforo em áreas

de agricultura familiar, decorrente de adubação exagerada e sem o uso correto das informações obtidas com a análise de solo (SILVA, 2016). Este grande aporte de fertilizantes fosfatados pode estar influenciando na presença e disponibilidade do micronutriente zinco, que é um dos metais afetados por este processo (VIEGAS, 2007).

Diante desta problemática, o presente trabalho estudou a disponibilidade de zinco em amostras de solos com altos e baixos teores de fósforo, verificando sua disponibilidade para plantas, em experimento conduzido em micro-parcelas “Neubauer”.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

Foram selecionadas vinte e seis amostras de solos coletadas em áreas de agricultura familiar, conforme descritas abaixo:

Projeto de Assentamento Dandara, situado no município de Malhador, SE, pertencente à microrregião agreste de Itabaiana, SE (SEPLANTEC, 1997).

Os solos predominantes, segundo Magalhães et al. (2008), são associações relacionadas com a classe do Neossolos Flúvicos. Desta área foram selecionadas onze amostras.

Perímetro Irrigado Poção da Ribeira, é um dos três perímetros existentes no município de Itabaiana - SE, junto com os perímetros do Açude da Marcela e Jacarecica I. Os solos são predominantemente da classe dos Luvisolos ocorrendo ainda Planossolos e Neossolos quartzarenicos. Informações de levantamentos anteriores apontam ainda a ocorrência de Argissolos vermelho amarelo (JACOMINE et al., 1975). Desta área foram selecionadas doze amostras.

Foram ainda selecionadas três amostras de pequenas propriedades do povoado Alecrim, município de Malhador, SE. Nesta área, de relevo ondulado, predominam solos do tipo Argissolo vermelho amarelo (DEAGRO, 2006).

Todas as amostras utilizadas resultam da mistura de doze a quinze amostras simples retiradas em cada local.

2.2 Teores de P e Zn nas amostras de solo

Teores de fósforo foram obtidos à partir da extração com Mehlich-1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1} + \text{H}_2\text{SO}_4 \ 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$) na proporção Extrator:solo de 5:1, conforme preconizado por Silva (2009) para análises de microelementos metálicos. A determinação dos teores de Zn ocorreu com os extratores Mehlich-1 e ácido cítrico 1%. Utilizou-se para leitura um espectrômetro de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (ICP OES) do Instituto tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS).

2.3 Experimento de disponibilidade de zinco

O estudo de absorção de metais pelas plantas foi conduzido no esquema de

micro-parcelas “Neubauer” adaptado por Catani e Bergamin Filho (1961) utilizando como planta teste o arroz (*Oryza sativa*, L.) cultivar BRS – Formoso. O arranjo experimental consistiu das trinta amostras de solo conduzidas em três repetições, em esquema inteiramente aleatório, conforme descrito a seguir.

Em placas de Petri foram colocados 20 g de solo misturado com 40 g de areia lavada e calcinada. Colocam-se então, em cada conjunto, 25 sementes de arroz pré-germinadas, cobrindo-as em seguida com mais 20 g de areia. Os conjuntos foram umedecidos (16 ml de água deionizada) e pesados. Esta pesagem foi repetida diariamente, fazendo-se a reposição da água perdida. O ensaio teve a duração de 21 dias, tempo no qual teria ocorrido a máxima exploração da terra pelas raízes. As plantas foram então retiradas e lavadas com água corrente, com solução 0,1 mol L⁻¹ de HCl e com água deionizada. Em seguida foram postas para secar em estufa a 40°C até peso constante. Após a secagem, as plantas de cada vaso foram trituradas e submetidas à digestão nítrico-perclórica, para determinação dos teores de zinco nos extratos, com os quais foram calculadas as quantidades pseudototais.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises realizadas no programa SISVAR (FERREIRA, 2000) mostraram distribuição normal dos dados. Isso confere segurança na avaliação dos resultados do ensaio conduzido no sistema de micro-parcelas “Neubauer” do presente estudo. A ausência de diferenças significativas para massa seca revela a uniformidade de desenvolvimento das plantas, explorando de maneira semelhante as amostras de solo. Ressalta-se ainda o baixo coeficiente de variação: 7,38%. Este comportamento confere confiabilidade aos dados de absorção de zinco pelas plantas. Na Tabela 1 são apresentados os teores de fósforo (P) e zinco (Zn) no solo e na planta.

Se observa que maiores concentrações de Zn no solo foram obtidas para extração usando o método Mehlich-1, em comparação a extração com ácido cítrico. No solo as concentrações de P variaram de 1,0 a 575 mg dm⁻³ e de Zn foram de 1,2 a 23,1 mg dm⁻³ e de 0,1 a 21,8 mg dm⁻³, extraídos com Mehlich-1 e ácido cítrico, respectivamente. Milagres et al. (2007) relataram concentrações de Zn, 0,0 a 32,0 mg dm⁻³, semelhantes as descritas neste trabalho. Já no trabalho descrito por Bortolon e Gianello (2010), foram encontradas concentrações de P variando de 0,6 a 31,0 mg dm⁻³, com uso do extrator Mehlich-1.

Amostra	P Mehlich-1	Zn Mehlich-1	Zn Ácido cítrico	P		Zn	
				Solo		Planta	
						mg dm ⁻³	
1	59,2	7,3	4,8	2461,4	154,5		
2	84,2	11,3	12,0	2445,8	129,8		
3	57,2	4,4	9,0	1955,2	56,0		

4	4,2	2,3	7,0	1640,6	63,3
5	56,5	2,6	1,1	2661,0	103,9
7	4,6	2,4	1,2	1781,1	57,5
8	3,2	1,5	1,0	1653,2	44,8
9	1,0	1,4	0,1	1615,2	70,8
10	124,6	17,8	11,9	2636,1	130,4
11	34,0	5,9	2,8	2364,9	90,5
12	64,6	5,3	4,3	1691,6	120,9
14	171,7	7,1	4,1	3793,5	117,2
15	19,6	1,2	2,2	1668,7	87,1
16	99,7	4,6	1,6	2855,1	85,8
17	37,6	4,1	8,9	1875,4	80,2
18	295,8	13,3	10,9	2656,9	82,1
19	436,0	17,4	7,8	2579,9	140,6
20	237,8	12,2	18,8	2367,8	105,6
21	397,5	19,8	13,4	2444,6	84,7
22	386,3	19,0	21,8	2540,8	90,4
23	575,6	19,0	12,4	3301,1	116,8
24	396,4	17,9	13,6	2444,9	68,8
26	521,3	19,6	13,5	3050,0	69,9
27	362,3	23,1	12,9	2751,7	104,4
28	456,7	18,7	13,4	2993,8	106,7
30	209,3	11,5	7,2	2654,7	82,8
Média	201,5	10,4	8,4	2418,7	94,1
Mínimo	1,0	1,2	0,1	1615,2	44,8
Máximo	575,6	23,1	21,8	3793,5	154,5
Mediana	124,6	9,3	8,4	2453,6	88,8

Tabela 1 - Teores de fósforo e zinco de amostras de solos de áreas de agricultura familiar e no tecido vegetal de plantas de arroz conduzidas em ensaio de micro-parcelas “Neubauer”.

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes da matriz de correlação dos dados de fósforo e Zn no solo e no tecido vegetal. Quanto aos teores de zinco na planta, não se observa correlação com nenhum dos extractores, sugere-se que isso seja devido ao caráter exploratório do estudo, que não consiste de um experimento com doses crescentes.

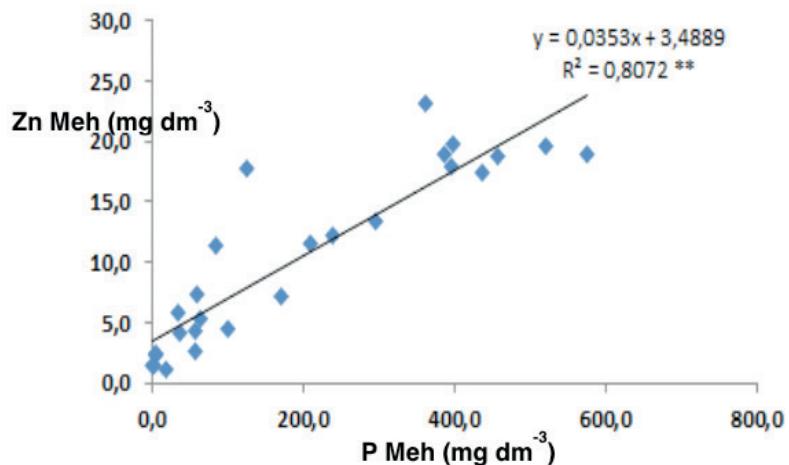
	P Meh	P planta	Zn Meh	Zn AcCitr	Zn planta
P Meh	1				
P planta	0,64	1			
Zn Meh	0,90	0,59	1		
Zn AcCitr	0,70	0,34	0,80	1	
Zn planta	0,19	0,47	0,33	0,16	1

Tabela 2 - Matriz de correlação dos dados de fósforo e zinco no solo e no tecido vegetal.

Como os níveis de zinco em todas as amostras eram adequados, isso promoveu o regular suprimento para as plantas, fato revelado pelas análises de tecido vegetal, que mostraram teores sempre acima do mínimo.

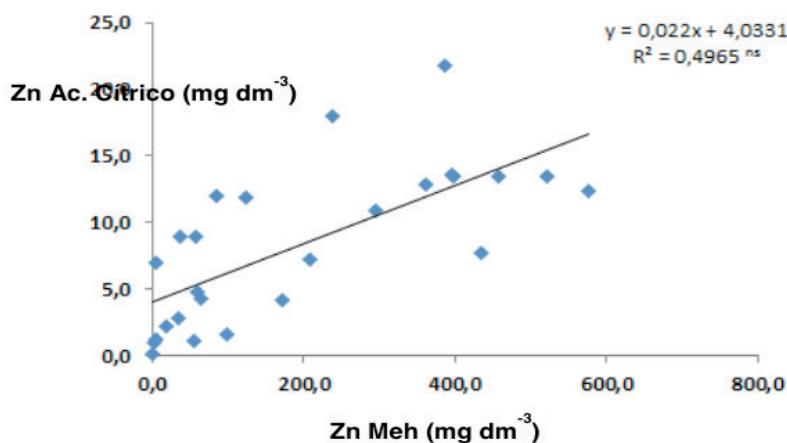
A Figura 1 mostra correlação positiva entre os teores de P e Zn em Mehlich-1. Embora sejam abundantes as informações em que elevados teores de fósforo podem comprometer a disponibilidade de zinco (SAEED e FOX, 1979), o presente trabalho mostra, contrariamente, a elevação dos seus teores. É razoável supor que isto se deva ao aporte de zinco no solo como contaminante proveniente de fertilizantes fosfatados, concordando com Campos et al. (2005).

Os teores de zinco no solo correlacionam-se ainda, entre si, com os extratores Mehlich-1 e ácido cítrico (Figura 2), mostrando que este último pode ser utilizado para a análise deste elemento.



**: Significativo ($p \leq 0,05$) pelo teste F; ns: Não significativo

Figura 1 - Correlação entre os teores de fósforo e zinco extraídos com Mehlich-1, de 26 amostras de solo de áreas de agricultura familiar em Sergipe.



**: Significativo ($p \leq 0,05$) pelo teste F; ns: Não significativo

Figura 2 - Correlação entre os teores de zinco extraídos com Mehlich-1 e ácido cítrico de 26 amostras de solo de áreas de agricultura familiar em Sergipe.

Os resultados obtidos sugerem que os altos teores de fósforo no solo ocasionaram a ocorrência de elevados teores de zinco extraíveis, contrariando afirmações sobre redução da disponibilidade. Mostram ainda que não ocorreu deficiência no suprimento desse micronutriente para as plantas. No entanto como estudo em micro-parcelas não contempla todo o ciclo vegetativo da planta, ensaios em campo devem ser promovidos visando confirmar ou não esta tendência.

4 | CONCLUSÃO

Os dados obtidos com as amostras de solo trabalhadas nas condições do presente estudo permitem concluir que enriquecimento do solo em fósforo decorrente da adubação mineral, pode elevar os teores disponíveis de zinco.

5 | AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal (CAPES); Ao Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS); A Fundação de Apoio à Pesquisa e a Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC).

REFERÊNCIAS

- BAIARDI, A.; ALENCAR, C. M. M. **Agricultura Familiar, seu Interesse Acadêmico, sua Lógica Constitutiva e sua Resiliência no Brasil.** Revista de Economia e Sociologia Rural, Vol. 52, Supl. 1, p. S045-S062, 2014.
- BALASTREIRE, L. A. **O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil**, Piracicaba: ESALQ, p.105-112, 2000.
- BORTOLON, L.; GIANELLO, C. **Fósforo extraído pela solução de mehlich-1 determinado por colorimetria e icp em solos do sul do brasil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, n. 34, p. 263 – 268, 2010.
- CAMPOS, M. L.; SILVA, F. N.; FURTINI NETO, A. E.; GUILHERME, L. R. G.; CATANI, R. A.; BERGAMIN FILHO, H. **Sobre uma modificação do Método de Neubauer.** Anais da ESALQ, v. XVIII, p. 287-300, 1961.
- CURADO, F. F.; LOPES, E. S.; SANTANA, M. **Do plural ao singular: Dimensões da reforma Agrária e assentamentos Rurais em Sergipe.** Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 254, 2008.
- DEAGRO/SE - Departamento Estadual de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe. **Relatório de atividades do PRONAF.** Período 2003 - 2006. Aracaju – Sergipe, 2006.
- FERREIRA, D. F. **Manual do sistema Sisvar para análises estatísticas.** UFLA, Lavras, 2000a.
- JACOMINE, P. K. T.; MONTENEGRO, J. O.; RIBEIRO, M. R. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Sergipe.** Recife: EMBRAPA; CPP; SUDENE; DRN; MA; CONTAP; USAID; ETA, 1975. 506p. (Boletim Técnico, 36; Série Recursos de Solos, 6).

MAGALHÃES, L. T. S.; LINS, C. C. V.; NETTO, A. O. A. **A construção do conhecimento no manejo de irrigação no assentamento rural DANDARA – MALHADOR – SE.** Revista da Fapese, v.4, n. 2, p. 125-132, 2008.

MARQUES, J. J.; ANTUNES, A. S. **Determinação de cádmio, cobre, cromo, níquel, chumbo e zinco em fosfatos de rocha.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.40, n.4, p.361-367, abr. 2005.

MATTOS, M. L. T.; MARTINS, J. F. S. **Cultivo de arroz irrigado orgânico no Rio Grande do Sul.** Embrapa Clima Temperado, p. 161, 2009.

MILAGRES, J. J. M.; VENEGAS, V. H. A.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Determinação de fe, zn, cu e mn extraídos do solo por diferentes extractores e dosados por espectrofotometria de emissão ótica em plasma induzido e espectrofotometria de absorção atômica.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, n. 31, p. 237 – 245, 2007.

SAEED, M.; FOX, R. L. **Influence of phosphate fertilization on zinc adsorption by tropical soils.** Soil Science Society of America Journal, Madison, v.43, p.683-686, 1979.

SANTANA, D. P. **A agricultura e o desafio do desenvolvimento sustentável.** Embrapa Milho e Sorgo, p. 1 -18, 2005.

SEPLANTEC - SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Perfis municipais.** Malhador-Sergipe:, 1997 e 2000. 75 p.

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes - 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, P. S. O. **Avaliação da sustentabilidade do Perímetro Irrigado Poção da Ribeira e Itabaiana, Sergipe.** São Cristóvão, 2016. 91p. Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Sergipe.

VIEGAS, P. R. A. **Elementos essenciais e benéficos às plantas cultivadas. In: Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes no estado de Sergipe.** 1.ed. Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros , 2007. p. 81 – 95.

ALTERAÇÕES QUÍMICAS DO SOLO IRRIGADO COM DILUIÇÕES DE ÁGUA PRODUZIDA TRATADA EM CASA DE VEGETAÇÃO

Ricardo André Rodrigues Filho

Engenheiro Agrícola e Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Rafael Oliveira Batista

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Professor associado do Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais Mossoró – Rio Grande do Norte.

Ana Beatriz Alves de Araújo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Manejo de Solo e Água. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Juli Emille Pereira de Melo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Graduanda do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Rayane Alves de Arruda Santos

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Graduanda do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Ana Luiza Veras de Souza

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Graduanda do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Antônio Diego da Silva Teixeira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Graduando do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Emmila Priscila Pinto do Nascimento

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Graduanda do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Taís Mendonça da Trindade

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Graduanda do curso de Gestão Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Wellyda Keorle Barros de Lavôr

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Graduanda do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Igor Apolônio de Oliveira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Graduando do curso de Agronomia. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Elioneide Jandira de Sales

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Graduanda do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

RESUMO: A irrigação com água produzida, obtida no processo de extração do petróleo, pode tornar-se uma alternativa para a agricultura irrigada em regiões semi-áridas. Entretanto, deve-se levar em consideração a presença de sais, metais pesados e substâncias tóxicas na sua composição, o que pode impactar negativamente o solo. O trabalho objetivou estudar os efeitos da água produzida tratada em água de poço nos atributos químicos de um Argissolo Vermelho Distrófico Típico cultivado com girassol. Os tratamentos foram baseados na diluição da água produzida tratada (AT) em

água de poço (AP). O experimento foi realizado em casa de vegetação, onde foram instalados 25 vasos de 32L preenchidos com Argissolo e cultivados com o girassol (*Helianthus annus*). Após 90 dias de aplicação das diluições de AT em AP realizou-se a coleta de amostras compostas de solo nas camadas de 0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m dos vasos, para determinação de pH, Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes). Os dados foram submetidos a análise de variância, teste de médias e contrastes ortogonais, utilizando-se o programa computacional estatístico SISVAR 5.6. As diluições não alteraram significativamente os valores de pH, CEes, Na^+ e Ca^{+2} do solo, enquanto o tratamento contendo apenas água produzida tratada diferiu estatisticamente do tratamento com 100% de água de poço apenas para o Mg^{+2} . A diluição 75% água de poço e 25% água produzida tratada é a mais recomendada para fins de irrigação, pois minimizou as alterações químicas no Argissolo estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso, Água resíduária, Petróleo.

CHEMICAL CHANGE OF SOIL IRRIGATED WITH DILUTIONS OF PRODUCED WATER TREATED IN VEGETATION HOUSE

ABSTRACT: Irrigation with produced water obtained from the oil extraction process can become an alternative to irrigated agriculture in semi-arid regions. However, the presence of salts, heavy metals and toxic substances in their composition must be taken into account, which may negatively impact the soil. The present work aimed to study the effects of the application of dilutions of wastewater of the treated oil in a Typic Rhodustults cultivated with sunflower. The treatments were based on the dilution of the produced water treated in well water. For this, 25 pots of 32L filled with Typic Rhodustults and cultivated with the sunflower (*Helianthus annus*) cultivar H-360. To fill the pots was used gravel (n ° zero) covering the bottom of the pots and covered by the soil. During the experimental period, water was collected to perform the characterization of the chemical attributes. After 90 days of application of the dilutions of AT in AP, soil samples were collected from 0 to 0.10 m and from 0.20 to 0.30 m from the pots to determine the following chemical attributes: pH, Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} and electrical conductivity of the soil saturation extract (CEes). The data were submitted to analysis of variance, test of averages and orthogonal contrasts, using the statistical computer program SISVAR 5.6. Dilutions did not significantly alter the pH, CE, Na^+ and Ca^{+2} values of the soil, whereas the treatment containing only treated treated water differed statistically from the treatment with 100% well water only for Mg^{+2} . The dilution of 75% well water and 25% treated treated water is the most recommended for irrigation purposes, since it minimized the chemical changes in the studied Argisol

KEYWORDS: Irrigation, Wastewater, Oil.

1 | INTRODUÇÃO

A importância da água é determinante para a biodiversidade no planeta, tem a função da conservação e do equilíbrio da vida das mais diversas espécies.

No contexto histórico, foi à busca pela água que fez com que o homem ocupasse territórios, desenvolvesse a agricultura e melhorasse sua qualidade de vida. Contudo, as modificações no estilo de vida do homem e a sua relação com a natureza fez com que ao longo dos anos, a água fosse sendo vista como um recurso hídrico e não mais como uma fonte de vida.

O aumento populacional, juntamente com o avanço das práticas industriais causaram aumento da escassez hídrica em regiões que não apresentavam essa problemática. Aliado a isso, fatores antrópicos provocaram ao longo dos anos uma série de impactos ambientais ligados à contaminação da água e do solo. Sendo assim, diversas pesquisas estão sendo elaboradas com intuito de mitigar estes impactos ambientais.

Trabalhos relacionados à utilização de água produzida do petróleo para irrigação mostram que essa pode ser uma alternativa viável para a destinação dessa água resíduária após seu devido tratamento. Miranda et al. (2016) verificaram que a mamona irrigada com água produzida tratada com osmose reversa não afetou a salinidade nem a sodicidade do solo, já a água tratada por filtração apresentou resultado negativo em relação a produtividade da cultura e o incremento na salinidade e sodicidade do solo.

Crisóstomo et al. (2018) irrigaram abacaxizeiro ornamental com água produzida filtrada e constataram que houve um aumento considerável no risco de salinização e sodificação do solo. Entretanto, a água tratada com osmose reversa aplicada no solo em um ciclo curto não afetou as características físico-químicas do solo.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo avaliar os efeitos da água produzida tratada diluída em água de poço, nos atributos químicos de um Argissolo Vermelho Distrófico Típico cultivado com girassol.

2 | REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização da água produzida do petróleo

Água resíduária do petróleo é definida como o efluente gerado a partir de processos produtivos de petróleo e gás natural, recebe essa denominação quando é encontrada na superfície do solo juntamente com o material que foi extraído do reservatório e consiste na mistura da água de formação do poço produtor de petróleo, água de condensação e de injeção dos processos de recuperação secundária e água utilizada para dessalinização do petróleo produzido (FAKHRU'L-RAZIA et al., 2009).

Para a exploração *offshore*, a água resíduária é tratada e descartada no mar. Já na produção *onshore* a água resíduária pode ser reinjetada nos poços, o que pode acarretar em diminuição na sua produtividade (MOTTA et al., 2013).

De acordo com Curbelo (2002), uma grande quantidade de água produzida não consegue ser reutilizada em outros processos produtivos, então, aquela água que não foi reutilizada passa a ser destinada para tratamento com a finalidade de adequá-las

seguindo normatizações ambientais para realizar o descarte em rios ou no oceano.

2.1.1 Composição da água produzida

A constituição da água trata-se de uma mistura complexa de compostos químicos orgânicos e inorgânicos, naturalmente ocorrentes, que foram dissolvidos ou dispersados na forma de particulados das formações geológicas e rotas de migração onde esse efluente esteve represado por milhares de anos (NEFF et al., 2011).

A água produzida se comparada com a água do mar apresenta os mesmos sais e metais pesados, entretanto, em concentrações bem mais elevadas. Esse fato pode ser explicado devido ao tempo de formação da estrutura geológica que está inserido o material (GABARDO, 2007). Os metais mais frequentes encontrados são o bário (Ba) e o ferro (Fe), íons de cloreto (Cl^-), sódio (Na^+), cálcio (Ca^+), magnésio (Mg^{2+}), amônia e sulfeto se apresentam como os compostos inorgânicos mais abundantes na água produzida (OGP, 2005).

A água produzida apresenta ainda uma grande variedade de metais pesados, alguns em concentração elevada e alguns elementos em suspensão, como areia, lodo, silicatos, argilas e traços de radionuclídeos (WANG et al., 2012).

2.2 Alterações na qualidade do solo irrigado com água produzida

Alguns trabalhos realizados utilizando água produzida tratada para irrigação do solo cultivado com distintas culturas apresentaram resultados satisfatórios quanto a qualidade do solo no fim do ciclo. Miranda et al. (2016), irrigou mamona (*Ricinus communis*) com água produzida e concluiu que a água tratada com osmose reversa não tinha efeito sobre a produtividade da cultura a mamoneira, não afetava a salinidade e sodicidade do solo e concluíram que a irrigação pode ser utilizada sem restrição. Entretanto, a irrigação com água tratada por filtração mostrou resultados negativos, diminuindo a produtividade em 30% se comparado com a irrigação por água de poço da mamoneira e elevando os níveis de salinidade e sodicidade em um Neossolo Quartzarênico.

Crisóstomo et al. (2018) realizaram um trabalho na Fazenda Belém, Aracati – CE, pertencente a bacia Potiguar. A água produzida foi utilizada para irrigar um solo cultivado com abacaxizeiro ornamental (*Ananas comosus* var. *bracteatus*) e verificaram que a irrigação com água produzida filtrada aumentou consideravelmente o risco de salinização e sodificação do solo. Já o solo irrigado com água produzida tratada por osmose reversa, em um ciclo curto, apresentou-se como uma alternativa viável para a produção de abacaxizeiro ornamental.

Pinheiro et al. (2014) em outro trabalho realizado na Fazenda Belém, avaliaram os efeitos da água produzida na irrigação do solo cultivado com oleaginosas e flores ornamentais. Como resultado, verificaram que a água produzida deveria passar por uma série de tratamentos, como filtração e dessalinização para tornar viável seu uso na

atividade agrícola. A qualidade da água se baseia nos critérios básicos de salinidade, sodicidade e toxicidade.

3 | MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado em casa de vegetação localizada no Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró/RN (05 12' 03,9" LS; -37 19' 37,98" LO). A Figura 1 apresenta a localização da casa de vegetação onde foi realizado o experimento.

Segundo Alvares et al. (2013), o clima da região é quente e seco, classificado de acordo com Köppen-Geiger como semiárido BSh. Apresenta temperatura média anual superior a 26,5 °C e precipitação média anual de 794 mm dispostos de maneira irregular, concentrada entre três e seis meses do ano e umidade relativa de 68,9%.



Figura 1 – Localização da área experimental na UFERSA, campus Mossoró/RN. Fonte: Google maps (2019).

3.2 Coleta da água produzida de petróleo tratada (AT) e água de poço (AP)

A obtenção da água produzida foi realizada através de três coletas em reservatórios com capacidade para 1000L. Uma empresa localizada na região e que atua na área de produção de petróleo forneceu a água para a realização do experimento.

O tratamento da água produzida coletada foi realizado no local em que foi montado o experimento, utilizou-se um polímero orgânico, fortemente catiônico chamado AGEFLOC DW-3753. Este atua em solução aquosa e serve para flocular o material suspenso, apresenta um alto poder de coagulação e acelera a velocidade de

formação de flocos. Em seu tratamento, foram aplicados 40ml do polímero para cada 1000L de água produzida.

3.3 Caracterização do solo utilizado no experimento

O solo utilizado para preencher os vasos foi retirado da Fazenda Experimental Rafael Fernandes pertencente à UFERSA e localizada no distrito da Alagoinha, Mossoró, RN. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2013) o solo coletado para realizar o experimento é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico Típico, segundo classificação de Rêgo et al (2016). Na Tabela 1 apresentam-se os atributos físico-químicos do solo antes da aplicação das diluições de água produzida. As coletas das amostras de solo foram efetuadas nas profundidades de 0 a 0,10m e de 0,10 a 0,20m.

Profundidade (m)	pH	CE _{es}	MO	N	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Mn	Zn	Cu
		dSm ⁻¹	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³mg dm ⁻³				
0 a 0,10	6,1	0,41	3,31	0,35	1,9	26,9	4,7	1,1	0,7	1,56	0,56	0,2	0,01
0,10 a 0,20	4,8	0,03	2,07	0,21	1,7	26,9	4,7	0,4	1,0	1,95	0,55	0,2	0,02
Profundidade (m)	Al ³⁺	H+Al	SB	T	CTC	V	m	PST					
		cmolc dm ⁻³%							
0,00 a 0,10	0,0	1,49	1,89	1,89	3,37	56	0	1,00					
0,10 a 0,20	0,15	1,97	1,49	1,64	3,47	43	9	1,00					

Tabela 1 - Características químicas do solo antes da irrigação. Nota: pH – Potencial Hidrogeniônico; CEes – Condutividade elétrica no extrato de saturação; MO - Matéria Orgânica; N – Nitrogênio; P – Fósforo; K – Potássio; Na – Sódio; Ca – Cálcio; Mg – Magnésio; Fe – Ferro; Mn – Manganês; Zn – Zinco; Cu – Cobre; Al – Alumínio; H+Al – Acidez potencial; SB – Soma de Base; t – Capacidade de troca de cátions efetiva; CTC – Capacidade de troca catiônica; V – Saturação por base; m – Saturação por alumínio; PST – Porcentagem de sódio trocável. Fonte: Acervo do pesquisador (2019).

Profundidade (m)	Densidade do solo	Massa Específica de partículas	Areia	Silte	Argila	Classe Textural	Relação Silte/Argila
						g cm ⁻³	
0,00 a 0,10	2,78	1,78	0,9	0,03	0,07	Areia	0,44
0,10 a 0,20	2,70	1,72	0,84	0,03	0,13	Areia Franca	0,24

Tabela 2 - Características físicas do solo antes da irrigação. Fonte: Acervo do pesquisador (2019).

3.4 Condução do experimento

O experimento foi conduzido no delineamento em blocos casualizados contendo vinte e cinco parcelas, onde foram feitos cinco tratamento e cinco repetições, como está ilustrado na Figura 2.

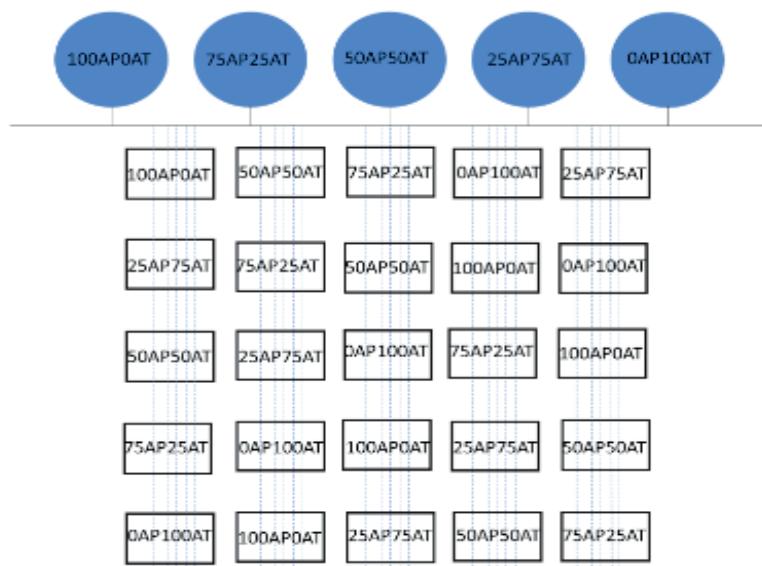


Figura 2 – Esquema da área experimental. Fonte: Acervo do pesquisador (2019).

Os tratamentos foram definidos de acordo com as diferentes diluições de água produzida tratada em água de poço. A Tabela 3 apresenta os tratamentos com suas respectivas diluições.

Diluições	Diluições
100AP0AT	100% de água de poço e 0% de água produzida tratada
75AP25AT	75% de água de poço e 25% de água produzida tratada
50AP50AT	50% de água de poço e 50% de água produzida tratada
25AP75AT	25% de água de poço e 75% água produzida tratada
0AP100AT	0% de água de poço e 100% de água produzida tratada

Tabela 3 – Diluições de água produzida tratada (AT) em água de poço (AP) utilizadas no experimento. Fonte: Próprio autor (2019).

3.5 Montagem das parcelas experimentais e transplantio das mudas

A cultura do girassol (*Helianthus annus*) utilizado no experimento foi a cultivar H-360, da Embrapa Semiárido. O transplantio ocorreu com 12 dias após a semeadura, onde as mudas foram levadas para o campo depois do semeio em bandejas de polietileno. Para garantir o sucesso no transplantio e sobrevivência das mudas, a irrigação com as diluições de água produzida tratada só foram iniciadas 20 dias após o cultivo, anteriormente a irrigação era apenas por água de abastecimento. O espaçamento utilizado no experimento foi de 1,0 m entre fileiras de plantas por 0,60 m entre plantas.

Os 25 vasos receberam as mudas no dia 14 de setembro de 2017. Os vasos

foram preenchidos com brita nº zero e com o Argissolo Vermelho Distrófico Típico peneirado que foi coletado na Fazenda Experimental da UFERSA. O preenchimento das parcelas foi concluído com a adubação de fundação em todos os vasos com uma única aplicação de uréia, MAP, cloreto de potássio e ácido bórico.

Todos os dados meteorológicos necessário para determinar a necessidade de irrigação foram coletados a partir de uma estação meteorológica instalada na casa de vegetação onde estava o experimento, para determinar a demanda hídrica do girassol foi utilizado os coeficientes de ajustes em função da evapotranspiração de referência (ET₀). O ciclo do girassol foi de 90 dias após o transplantio (DAT), ao todo foi aplicada uma lâmina bruta de 435,35 mm para cada tratamento, onde a quantidade de água produzida e água de abastecimento foi dividida em função da porcentagem referente a cada diluição.

3.6 Atributos químicos do solo após aplicar as diluições de água produzida tratada

A caracterização química do solo foi feita a partir da coleta das amostras em cada vaso nas profundidades de 0 a 0,10m e de 0,10 a 0,20m, seguindo recomendações propostas por Teixeira et al. (2017), onde foram realizadas as seguintes análises: potencial hidrogeniônico (pH) por pHmetro, condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) por condutivímetro, sódio (Na⁺) por fotômetro de chama, cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) pelo método titulométrico.

3.7 Análise estatística

Para a avaliação dos dados referentes ao solo antes da irrigação com as diluições foi considerado o delineamento em blocos casualizados com cinco repetições e cinco tratamentos, onde as parcelas eram os tratamentos e as subparcelas eram as profundidades que foram coletadas as amostras, de 0 a 0,10m e 0,10 a 0,20m.

Em relação às características do solo, os dados foram submetidos à análise de variância pelo programa computacional SISVAR (Sistemas para Análises de Variância) desenvolvido por Ferreira (2011), realizando teste de Tukey e contrastes ortogonais para comparação múltipla das médias.

Costa et al. (2018) propuseram em seu trabalho uma combinação dos contrastes com as médias dos tratamentos, sendo expressa da seguinte forma: 1) tratamento T5 versus demais tratamentos (T1, T2, T3 e T4); 2) tratamento 4 versus tratamentos T1, T2 e T3; 3) tratamento T3 versus tratamentos T1 e T2 e 4) tratamento T2 versus tratamento T1. Sendo assim, os contrastes utilizados foram:

$$C1 = 12 m1 + 12 m2 + 8 m3 + 10 m4 - 42 m5$$

$$C2 = 30 m1 + 30 m2 + 20 m3 - 80 m4$$

$$C3 = 6 m1 + 6 m2 - 12 m3$$

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização química do solo irrigado com diluições de água produzida tratada em água de poço

A Tabela 4 traz a análise estatística do teste de Tukey realizada nos solos que receberam irrigação com os tratamentos de água produzida tratada.

Diluições	Características químicas do solo				
	pH	CE _{es} dS m ⁻¹	Na ⁺ mg dm ⁻³	Ca ²⁺cmol _c dm ⁻³	Mg ²⁺
100AP0AT	7,49	0,47	259,56	1,01	0,58a
74AP25AT	7,54	0,50	307,44	1,08	0,74ab
50AP50AT	7,73	0,51	279,17	1,19	0,85ab
25AP75AT	7,70	0,45	332,95	1,25	0,95ab
0AP100AT	7,57	0,59	310,83	1,12	1,05b
Média	7,60	0,50	297,99	1,13	0,838
CV 1 (%)	4,35	29,46	50,49	21,94	32,81
CV 2 (%)	5,54	19,12	42,35	25,0	34,47
Erro-padrão	0,104	0,047	47,57	0,078	0,087
Probabilidade	NS	NS	NS	NS	0,013*
Probabilidade dos contrastes (decimal)					
Contraste C ₁ : 0AP100AT Vs (100AP0AT + 75AP25AT + 50AP50AT + 25AP75AT)	NS	NS	NS	NS	0,009**
Contraste C ₂ : 25AP75AT Vs (100AP0AT + 75AP25AT + 50AP50AT)	NS	NS	NS	NS	0,002**
Contraste C ₃ : 50AP50AT Vs (100AP0AT + 100AP0AT)	NS	NS	NS	NS	NS
Contraste C ₄ : 75AP25AT Vs 100AP0AT	NS	NS	NS	NS	NS

Tabela 4 - Características químicas do solo irrigado com diluições de água produzida tratada em água de poço. Nota: pH – Potencial hidrogeniônico; CEes – Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo; K⁺ – Potássio; Na⁺ – Sódio; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio. C₁ = 12 m₁ + 12 m₂ + 8 m₃ + 10 m₄ – 42 m₅; C₂ = 30 m₁ + 30 m₂ + 20 m₃ – 80 m₄; C₃ = 6 m₁ + 6 m₂ – 12 m₃; C₄ = 6 m₁ – 6 m₂. Médias seguidas de letras iguais, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. ** e *Significativos a 1 e 5 % de probabilidade pelo teste F, respectivamente. NS - Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. Fonte: Acervo do pesquisador (2019).

Analizando a Tabela 4, constata-se que os atributos pH, condutividade elétrica no extrato de saturação, cálcio e sódio não apresentaram efeito significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. O resultado da análise estatística mostrou que apenas para magnésio (Mg²⁺) ocorreu efeito significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O tratamento contendo apenas água de poço (100AP0AT) apresentou valor

de pH inferior aos demais devido a água ter uma concentração de sais menor que os outros tratamentos. Comparando com o estado inicial do solo antes da irrigação acontecer, constata-se que o pH no solo aumentou após irrigá-lo com água produzida tratada pois a condição das diluições já apresentava um pH elevado.

O pH no solo é dividido em função das classes agronômicas de interpretação da acidez do solo. Valores menores que 4,5 são considerados muito baixo; entre 4,5 e 5,4 baixo; 5,5 a 6,0 bom; 6,1 a 7,0 alta e maior que 7,0 considera-se como muito alto. Considerando especificações para empreendimentos agrícolas e florestais, o pH encontrado nos tratamentos apresenta-se como muito alto (RIBEIRO et al., 1999).

Os tratamentos não apresentaram variação estatística para os contrastes ortogonais em relação a CEes. No geral, obteve-se uma média de 0,50 dS m⁻¹. Estatisticamente, esse atributo não apresentou efeito significativo pelo teste de Tukey.

De acordo com Miranda et al. (2016), a cultura do girassol é considerada moderadamente sensível à salinidade. A produtividade da cultura está associada ao teor de sais no solo e na água de irrigação, onde a CE não deve exceder o valor de 1,1 dS m⁻¹ para não ocorrer redução em seu rendimento.

A média de sódio nos tratamentos foi de 297,99 mg.dm⁻³. Não houve variação estatística entre os contrastes ortogonais, assim como nos tratamentos. Teores elevados de Na⁺ no solo podem trazer problemas estruturais para o solo, afetando os poros e auxiliando na alteração a infiltração e condutividade hidráulica (VELOSO, 1991). A dispersão de argila no solo pode provocar uma redução na estabilidade dos agregados do solo, onde a fração argila consegue ser facilmente conduzida para zonas mais superficiais do solo (SILVA, 2003).

Os valores médios de Ca²⁺ no solo variaram de 1,01 cmol_c dm⁻³ para o 100AP0AT e 1,25 cmol_c.dm⁻³ para o 25AP75AT. A classe de interpretação de fertilidade do solo proposta por Ribeiro et al. (1999) constata-se que as concentrações de Ca²⁺ no solo irrigado com as diferentes diluições de água produzida tratada está na faixa considerada baixa em relação ao cálcio trocável no solo, apenas o 25AP75AT é classificado como fertilidade média.

Evidenciou-se que as diluições de água produzida tratada em água de abastecimento causaram efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey no atributo Mg²⁺ no solo. Os resultados mostraram um incremento de magnésio trocável no solo para cada aumento na quantidade de água produzida tratada colocada na diluição, sendo que o tratamento 100AP0AT obteve o menor valor com 0,58 cmol_c dm⁻³ e o T5 a maior concentração com 1,05 cmol_c dm⁻³.

Os contrastes C1 e C2 apresentaram significância ao nível de 1% de probabilidade, onde o tratamento 0AP100AT difere da soma das médias dos demais tratamentos e o tratamento 25AP75AT tem uma concentração de Mg²⁺ diferente da soma dos tratamentos 100AP0AT, 75AP25AT e 50AP50AT.

Seguindo a classe de interpretação de fertilidade do solo para complexo de troca catiônica de Ribeiro et al. (1999), o magnésio é classificado como muito baixo (<

0,15 cmol_c dm⁻³), baixo (0,15 a 0,45 cmol_c dm⁻³), médio (0,46 a 0,90 cmol_c dm⁻³), bom (0,91 a 1,50 cmol_c dm⁻³) e muito bom (>1,50 cmol_c dm⁻³). A média das concentrações de magnésio trocável encontrados nos solos irrigados com as diferentes diluições se enquadram como: tratamento 100AP0AT considera-se muito baixo; 75AP25AT e 50AP50AT são de média fertilidade, 25AP75AT e 0AP100AT apresentam-se com boa fertilidade.

A partir da análise das características química do solo após a irrigação com as diluições de água produzida tratada em um ciclo de 90 dias é possível afirmar que as avaliações e monitoramento da qualidade do solo devem ser feitas constantemente, tendo em vista que quanto maior a lâmina de irrigação aplicada no solo e o ciclo da cultura, maior será a concentração dos atributos analisados.

4.1.1 Análise de Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), Cálcio (Ca²⁺), Magnésio (Mg²⁺) e Sódio (Na⁺) no perfil do solo ao final do ciclo do girassol.

A Figura 3 mostra os valores de pH, CEes, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ nas profundidades de 0 a 0,10m e 0,10 a 0,20 m. Na Figura 3A foi verificado que o solo que apresentou menor valor de pH foram aqueles irrigados apenas com água de poço e todos os tratamentos se enquadram na classificação agronômica de Ribeiro et al. (1999) como pH muito alto. Em relação ao comportamento do pH no perfil do solo foi visto uma tendência a decrescer seu valor em camadas mais profundas.

Miranda et al. (2016) no trabalho irrigando com água produzida tratada a cultura do girassol em três ciclos constataram que o pH do solo apresenta variação de acordo com o ciclo de cultivo e o tipo de tratamento empregado na água produzida. Foi visto que o tratamento utilizando a osmose reversa apresentou valores inferiores a água de captação do aquífero Açu e a água produzida tratada pelo método da filtração.

Em geral, houve uma tendência de redução dos valores médios de pH provavelmente ao fato de ocorrer lixiviação de sais para as camadas subsuperficiais, assim como uma variação nos teores de argila em cada camada do solo, acarretando uma possível sorção dos sais (COSTA, 2017).

A salinidade do solo causa uma série de impactos no desenvolvimento das plantas, podendo aumentar a concentração de sais nas raízes de maneira progressiva e causar problemas no rendimento de culturas sensíveis a elevadas concentrações de sais.

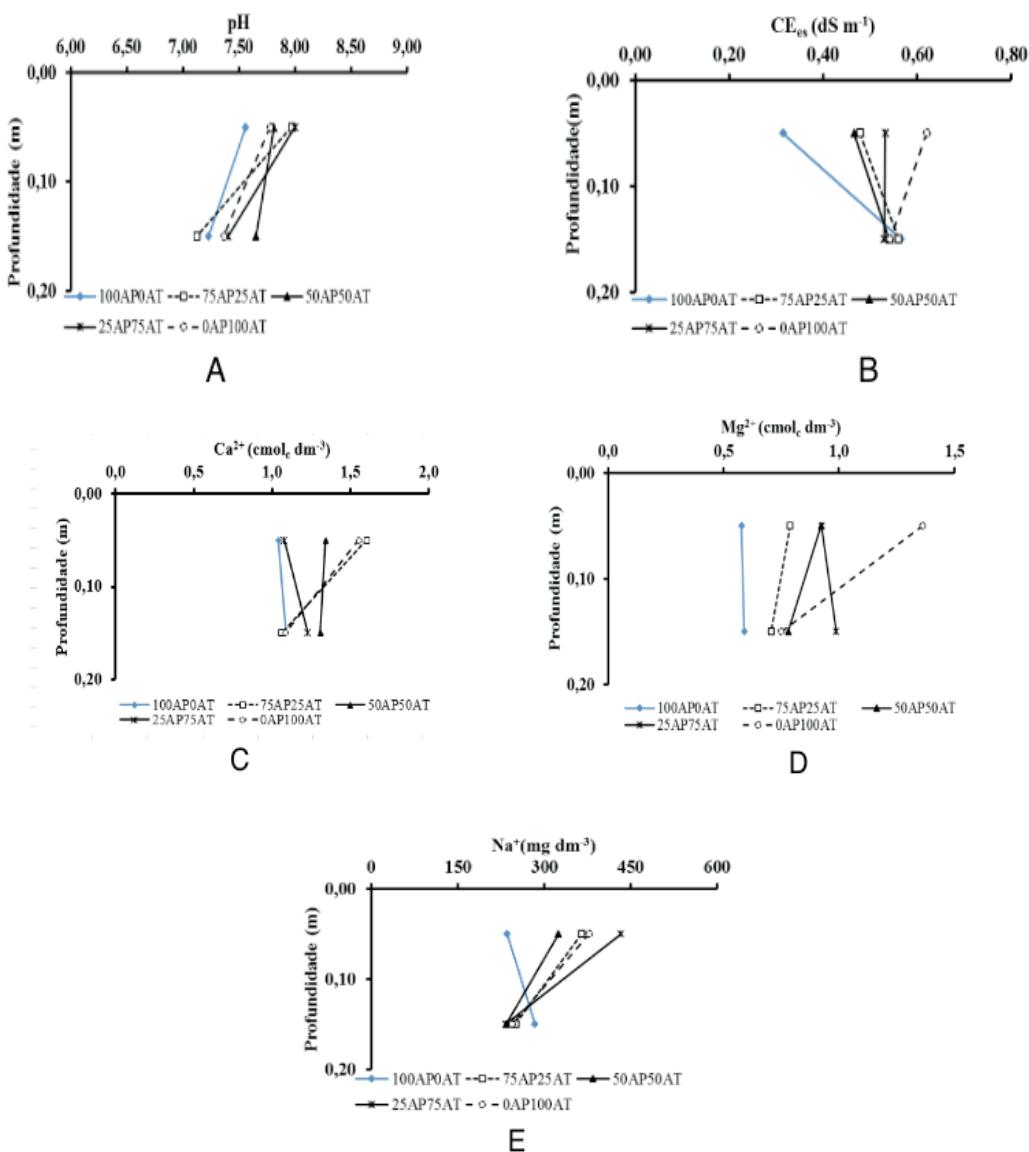


Figura 3 – Valores de pH (A), CEes (B), Ca^{2+} (C), Mg^{2+} (D) e Na^+ (E) do solo sob aplicação de água produzida em função da profundidade de cada tratamento. Fonte: Acervo do pesquisador (2019).

Na Figura 3B, apenas o tratamento 100AP0AT apresentou características de lixiviação devido ao processo de irrigação drenar os teores de sais na superfície do solo. Nos outros tratamentos observou-se uma tendência de pouca variabilidade da condutividade elétrica em função da profundidade. Ayers e Westcot (1999) citam que na camada superficial do solo alguns fatores podem fazer com que ocorra o acúmulo de sais, tais como: evaporação da água na superfície do solo, acarretando uma maior concentração de sais; lixiviação contínua e substituição dos sais nas proximidades da zona úmida.

Os tratamentos 100AP0AT, 75AP25AT, 50AP50AT e 25AP75AT apresentaram um pequeno incremento no valor de condutividade elétrica ao longo do perfil do solo. Já o tratamento 0AP100AT comportou-se de maneira distinta, a concentração de sais foi maior nas camadas superficiais. O resultado encontrado no presente estudo corrobora com Costa (2017), onde a aplicação de diluições de água residuária de

laticínios aumentou a condutividade elétrica do solo em camadas com maiores teores de argila e devido à lixiviação.

Essa tendência de acréscimo da CE a partir do aumento da quantidade de água produzida tratada disposta no solo ocorre em função do aumento do valor da condutividade elétrica nas águas de diluição, evidenciando assim resultados semelhantes aos de Miranda et al. (2016), onde a irrigação com água produzida tratada por filtração aumentou a CE_{es} em relação ao solo irrigado apenas com água de abastecimento praticamente em todo seu perfil.

A Figura 3C mostra o comportamento das concentrações de Ca^{2+} no perfil do solo. O tratamento contendo apenas água de poço apresentou menores concentrações de Ca^{2+} ao longo do perfil do solo. Para a maioria dos tratamentos (75AP25AT, 0AP100AT e 50AP50AT) apresentam maiores concentrações de cálcio nas camadas superficiais, onde 75AP25AT e 0AP100AT mostram um decréscimo considerável quando se aumenta a profundidade. Resultado semelhante foi encontrado por Crisóstomo et al. (2018), onde as concentrações de cálcio e magnésio trocáveis foram maiores na camada superior do solo irrigado com água produzida tratada por osmose.

Para o magnésio trocável, apenas o tratamento 0AP100AT reduziu consideravelmente ao longo do perfil (Figura 3D), os outros tratamentos não apresentaram oscilações consideráveis. O incremento de Mg^{2+} no solo foi proporcional à aplicação de água produzida tratada nas diluições. Considerando que o tratamento 0AP100AT possui a maior concentração de Mg^{2+} no solo, a maior parte desse elemento se deslocou para a zona superficial, pois a matéria orgânica reteve esse nutriente.

Os resultados encontrados nesse trabalho corroboram com os valores de magnésio trocável no solo constatados por Crisóstomo et al. (2018), onde as concentrações de Mg^{2+} ocorreram em maiores concentrações nas camadas superficiais.

A Figura 3E evidencia que as concentrações médias de Na^+ na maioria dos tratamentos apresentou uma redução de seus valores em função da profundidade, apenas o tratamento 100AP0AT mostrou uma tendência de aumento da concentração nas camadas mais profundas. Segundo NSW (2010), em concentrações elevadas, o sódio pode causar problemas na estrutura do solo, como dispersão, redução da infiltração de água, forma uma camada compactada e intensifica os processos de erosão.

Crisóstomo et al. (2018), constatou que no ciclo do abacaxizeiro ornamental irrigado, a água produzida tratada por osmose reversa proporcionou no solo uma concentração menor de Na^+ em relação a água produzida tratada por filtração.

NSW (2010) explicita que solos que tiveram irrigação prolongada com águas residuárias podem apresentar problemas no futuro, pois um inadequado manejo do solo aliada a falta de recomendações agronômicas provocam efeitos adversos na estrutura do solo, causando a dispersão das argilas, problema na drenagem e prejudica o desenvolvimento das culturas.

5 | CONCLUSÕES

As análises realizadas no solo após irrigação com as diluições de água produzida tratada em água de abastecimento, verificou-se que dentre todos os atributos químicos avaliados, somente o Mg^{2+} apresentou efeito significativo. Sua concentração no solo aumentou juntamente com o incremento de água produzida tratada aplicada.

A análise por contrastes ortogonais revelou que houve incremento do magnésio nos tratamentos 25AP75AT e 0AP100AT.

A diluição 75AP25AT foi a mais recomendada para fins de irrigação, pois minimizou as alterações químicas no Argissolo estudado.

Por fim, ressalta-se que outras variáveis como metais pesados e hidrocarbonetos presentes na água produzida devem ser monitoradas para comprovar que a aplicação da água no solo é um método eficiente de disposição do efluente gerado na produção do petróleo.

REFERENCIAS

- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** 2.ed. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1999. 218p. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado).
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. **Koppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologische Zeitschrift, v. 22, p. 711–728. 2013.
- COSTA, A. G. **Utilização de efluente de laticínios na produção do mandacaru sem espinho (*Cereus hildmannianus k. schum*) no semiárido brasileiro.** 2017. 86p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Mossoró, 2017a. Disponível em: <<https://ppgmsa.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/59/2014/10/DISSERTACAO-Andrezza-Grasielly-Costa.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2018a.
- COSTA, A. G; ALVES, S. M. C.; BATISTA, R. O.; MENDES, H. C.; SOUZA, D. I. M. **Chemical Characteristics of Irrigated Ultisol with Dairy Effluent Dilutions.** FLORAM, v. 25, p. 1-9, 2018.
- CURBELO, F. D. S. **Estudo da remoção de óleo em águas produzidas na indústria de petróleo, por adsorção em coluna utilizando a vermiculita expandida e hidrofobizada.** 2002. 102 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2002.
- CRISÓSTOMO, L. A.; Weber, O. B.; MIRANDA, F. R.; ARAGÃO, F. A. S.; BEZERRA, F. C.; MOSCA, J. L. **Reuso da água produzida na irrigação do abacaxizeiro ornamental:** efeitos sobre as características químicas do solo. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2018. 27 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos.** 5 ed. Brasília: Embrapa Solos; 2013. 590p.
- FAKHUL-RAZIA, A.; PENDASHTENA, A.; ABDULLAHA, L.; BIAK, D.; MADAENIC, S.; ABIDINA, Z. **Review of technologies for oil and gas produced water treatment.** Journal of Hazardous Materials. vol. 170, p. 530–551, out. 2009.
- FERREIRA, B. H. **Estudo dos processos de tratamento de água produzida de petróleo.** 2016. 48 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016. Disponível em: <<https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/3067/1/TCC-2016%202-%20BARBARA%20HELINKA%20FERREIRA.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2019.

GABARDO, I. T. **Caracterização química e toxicológica da água produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar.** 2007 250 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. 2007.

MIRANDA, F. R.; CRISOSTOMO, L. A.; WEBER, O. B.; SILVA, F. L. B.; ARAGÃO, F. A. S.; BARROS, M. E. S. **Irrigação com água produzida na extração de petróleo: efeitos sobre a salinidade do solo e a produtividade da mamoneira.** Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2016.29 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/147549/1/BPD16010.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

MOTTA, A. R. P.; BORGES, C. P.; ARAUJO, K. P. & BRANCO, L. P. N. **Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p.15-26, 2013.

NEFF, J.; LEE, K.; DEBLOIS, E. M. **Produced water: Overview of composition, fates and effects.** Cap. 1 In: Produced water, environmental risks and advances in mitigation technologies. Springer Science, 608p. 2011.

NSW – **Effluent reuse management.** Austrália: Department of Environment and Climate Change and Water NSW, 2010. 65 p.

OGP, 2005. **Fates and effects of naturally occurring substances in produced water on the marine environment.** International Association of Oil and Gas Producers. v. 364, 42p.

PINHEIRO, R.; TRAVALLONI, A. M.; JÚNIOR, G. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; AQUINO, O.; ORLANDO, A. E. **Projeto Piloto de Irrigação com Água Produzida no Campo de Fazenda Belém.** In: RIO OIL & GAS EXPO AND CONFERENCE, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111139/1/AAC14001.pdf>>. Acesso em: 30 jan. 2019.

RÊGO, L. G. S.; MARTINS, C. M.; SILVA, E. F.; SILVA, ALVES, J. J; LIMA, R. N. S. **Pedogenesis and soil classification of an experimental farm in mossoró, state of Rio Grande do Norte, Brazil.** Revista Caatinga, n. 29, p. 1036-1042, 2016.

RIBEIRO A. C, GUIMARÃES P. T. G, ALVAREZ V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** Viçosa: CFSEMG; 1999. 322p.

SILVA, I. N; FONTES, L. O; TAVELLA, L. B; OLIVEIRA, J. B; OLIVEIRA, A. C; **Qualidade da água de irrigação. Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v. 3, n. 7, p.01-15, jul. 2011.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA G. K.; WENCESLAU, A. F.; TEIXEIRA, G. **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 573 p.

WANG, X.; GOUAL, L.; COLBERG, P. J. S. **Characterization and treatment of dissolved organic matter from oilfield produced waters.** Journal of Hazardous Materials, v. 30, p. 164-170. 2012.

VELOSO, M. E. C. **Efeitos de diferentes qualidades de água sobre algumas propriedades físico-químicas de um Brunizem Avermelhado.** 1991. 51p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000177&pid=S0100-0683200900060000600031&lng=pt>. Acesso em 2 out. 2018.

DETERMINAÇÃO RÁPIDA DE MN, ZN, FE E MG EM MELADO DE CANA POR ESPECTROMETRIA DE ABSORÇÃO ATÔMICA COM CHAMA (F AAS)

Suelen Andolfatto

Universidade Estadual do Centro-Oeste,
Departamento de Química, Guarapuava, PR.

Camila Kulek de Andrade

Universidade Estadual do Centro-Oeste,
Departamento de Química, Guarapuava, PR.

Maria Lurdes Felsner

Universidade Estadual do Centro-Oeste,
Departamento de Química, Guarapuava, PR.

úmida), aplicando-se um teste-*F*. Os valores de $F_{calculado}$, para todos os metais foram inferiores ao valor de $F_{crítico}$ com $p > 0,05$, comprovando que não existem diferenças significativas de precisão entre os métodos comparados. Na avaliação da exatidão, os resultados do teste-*t* pareado confirmaram que não existem diferenças significativas de exatidão entre os métodos de preparo de amostra, pois os valores de $t_{observado}$ apresentaram-se inferiores ao valor de $t_{crítico}$ com $p > 0,05$. Desta forma, sugere-se que a amostragem em suspensão pode ser aplicada na análise direta de metais em melado de cana em laboratórios de controle de qualidade e de fiscalização, com vantagens em relação aos métodos tradicionais de preparo de amostra como rapidez, baixo custo e redução de resíduos tóxicos.

PALAVRAS-CHAVE: melado de cana, metais, amostragem em suspensão, F AAS, validação de métodos.

FAST DETERMINATION OF MN, ZN, FE AND MG IN CANE SYRUPS BY FLAME ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETRY (F AAS)

ABSTRACT: In this work, the intralaboratorial validation of the slurry sampling applied in the determination of Mg, Mn, Fe and Zn in cane syrups by F AAS was carried out evaluating the following parameters: linearity, limits of

RESUMO: Neste trabalho foi realizada, de forma inédita, a validação intralaboratorial da amostragem em suspensão aplicada na determinação de Mg, Mn, Fe e Zn em melado de cana por F AAS avaliando-se os parâmetros: linearidade, limites de detecção e de quantificação, precisão e exatidão. Foram empregadas curvas analíticas de padrão externo para todos os elementos analisados, e estas apresentaram boa linearidade na faixa de concentração investigada, com valores de $F_{regressão} >> F_{crítico}$ e sem falta de ajuste do modelo linear. Os limites de quantificação foram baixos, com valores de 0,07; 0,03; 0,12 e 0,02 mg L⁻¹ para Mn, Zn, Fe e Mg, respectivamente, demonstrando a sensibilidade da metodologia avaliada. A precisão foi verificada pela comparação de variâncias ponderadas entre dois métodos de preparo de amostra (amostragem em suspensão e digestão por via

detection and quantification, precision and accuracy. External standard analytical curves were used for all the analyzed elements, and these showed good linearity in the concentration range investigated, with values $F_{\text{regression}} >> F_{\text{critical}}$ and without lack of fit of the linear model. Quantification limits were low, with values of 0.07; 0.03; 0.12 and 0.02 mg L⁻¹ for Mn, Zn, Fe and Mg, respectively, demonstrating the sensibility of the methodology evaluated. Precision was verified by comparison of weighted variances between two sample preparation methods (slurry sampling and wet digestion) by applying an *F*-test. The values of $F_{\text{calculated}}$ for all metals were inferior to the F_{critical} value with $p > 0.05$, proving that there are no significant differences of precision between the methods compared. In the evaluation of the accuracy, the results of the *paired t*-test confirmed that there were no significant differences of accuracy between the sample preparation methods, since the t_{observed} values were lower than the t_{critical} value with $p > 0.05$. In this way, it is suggested that the slurry sampling can be applied in the direct analysis of metals in cane syrups in laboratories of quality control and inspection with advantages over traditional methods of preparation of sample such as speed, low cost and reduction of toxic waste.

KEYWORDS: cane syrup, metals, slurry sampling, F AAS, method validation.

1 | INTRODUÇÃO

O melado de cana é um líquido xaroposo, obtido pela evaporação do caldo de cana ou a partir da rapadura, por processos tecnológicos adequados (ANVISA, 2005). Este produto vem recebendo boa aceitação pelos consumidores devido aos seus teores de açúcares, minerais (Fe, Mn, Ca, K e Zn) e vitaminas, sendo considerado um alimento altamente nutritivo e versátil, uma vez que pode ser consumido puro (melado de cana) ou como ingrediente para o preparo de outros produtos, como biscoitos, bolos, bebidas, balas, entre outros (CABALLERO et al., 2003; CARVALHO, 2007).

Entretanto, para garantir a segurança alimentar deste alimento, é fundamental caracterizá-lo de acordo com seus valores nutricionais (MILIKAN, 2012). Metais como Fe, Cu, Zn, Mn e Cr são considerados essenciais para a saúde humana, uma vez que desempenham diversas funções no organismo, atuando no metabolismo de enzimas, no desenvolvimento dos ossos e na regulação da glicose, entre outros (FRAGA, 2005; GUPTA e GUPTA, 2014). Por outro lado, a presença destes elementos em níveis maiores que o necessário para a dieta humana, pode produzir efeitos adversos, se tornando altamente tóxicos para os seres humanos (FRAGA, 2005). Desta forma, torna-se relevante determinar os teores de metais em matrizes alimentares, em especial no melado de cana, com o objetivo de definir sua ação essencial ou tóxica e assim garantir uma dieta adequada através da alimentação (GÜRKAN et al., 2013).

A determinação de metais em alimentos é comumente realizada por técnicas de espectrometria atômica, tais como, a espectrometria de absorção atômica em chama (F AAS) (POHL et al., 2014; RODRÍGUEZ-SOLANA et al., 2014), espectrometria de massas com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) (LLORENT-MARTÍNEZ et al.,

2012), a espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-AES) (CINDRIĆ et al., 2012) e a espectrometria de absorção atômica em forno de grafite (GF AAS) (ANDRADE et al., 2014; SANTOS et a., 2018). Embora considerada antiga, a técnica de FAAS é amplamente empregada em laboratórios de pesquisa, de indústrias e de controle de qualidade, para a determinação de íons metálicos em diferentes matrizes (MILIKAN, 2012; GÜRKAN e ALTUNAY, 2015). Sua ampla utilização pode ser justificada pela boa seletividade e precisão nas medições, pequenos efeitos de matriz e pelo baixo custo de aquisição e manutenção do equipamento (POHL, 2009; POHL e SERGIEL, 2010; GÜRKAN e ALTUNAY, 2015).

Todavia, a determinação de metais por FAAS em matrizes complexas, tais como o melado de cana, não é uma tarefa simples devido ao elevado conteúdo de compostos orgânicos presentes (BRANDÃO et al., 2012). Desta forma, procedimentos tradicionais de preparo de amostra como a digestão por via seca, a digestão por via úmida e a digestão assistida por micro-ondas (LLORENT-MARTÍNEZ et al., 2012; AKINYELE e SHOKUNBI, 2015) normalmente são empregados, tornando mais fácil a liberação do metal de interesse e posterior detecção do mesmo (NUNES et al., 2013). Porém, estes procedimentos, além de morosos, necessitam de grandes volumes de reagentes, produzem resíduos tóxicos, podem causar contaminação da amostra ou perdas do analito de interesse por volatilização, além de oferecer riscos ao analista (KORN et al., 2008; GROMBONI et al., 2010; KHAJEH e SANCHOOLI, 2010).

Com o intuito de eliminar e/ou minimizar estes inconvenientes e a tendência recente em desenvolver, otimizar e validar metodologias analíticas mais limpas, rápidas e precisas, tem-se impulsionado o desenvolvimento de novos métodos de preparo de amostra como a amostragem em suspensão e a extração assistida por ultrassom (ANDRADE et al., 2018; SANTOS et al., 2018; SANTOS et al., 2019).

A utilização da amostragem em suspensão para a determinação de Mn, Zn, Fe e Mg em amostras de melado de cana (sem o pré-tratamento da amostra) é um avanço atraente para química analítica, uma vez que não foram encontrados trabalhos na literatura fazendo uso da técnica de FAAS para tal fim. Pohl e Sergiel (2010) empregaram a amostragem em suspensão para a determinação de Cu, Fe e Mn em amostras de mel utilizando apenas a diluição em água, e os resultados não apresentaram diferenças significativas quando comparados com um método de referência (digestão por via úmida). A simples dissolução da amostra em água oferece diversas vantagens quando comparada aos procedimentos convencionais de preparo de amostra, pois limita a utilização de solventes tóxicos, além de reduzir o tempo de preparo da amostra, diminuir a perda do analito por volatilização (como Cu, Fe e Zn) ou ainda minimizar possíveis contaminações da solução (POHL, 2009; POHL e SERGIEL, 2010; POHL et al., 2011).

Neste contexto, torna-se relevante desenvolver e validar métodos rápidos, diretos e precisos para a determinação de metais em alimentos com altos teores de açúcares. Além de não serem encontrados trabalhos mostrando a presença de metais

em melado de cana, e considerando a dificuldade de preparo de amostras açucaradas, este trabalho descreve a validação e a aplicação da amostragem em suspensão como preparo de amostra para a determinação rápida de Mn, Zn, Fe e Mg em amostras de melado de cana por FAAS.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostras

Neste trabalho foram utilizadas onze amostras de melado de cana (M01 a M08, M10 a M12) produzidas em diferentes estados do Brasil e por diferentes fabricantes que foram adquiridas em casas de produtos naturais e supermercados no período de 2012 a 2015, e uma amostra de melaço de cana produzida em Winnipeg, Canadá (M09).

2.2 Reagentes e soluções analíticas

Todos os reagentes foram de grau analítico e todas as soluções foram preparadas com água ultrapura obtida através do sistema de purificação TKA- GenPure (Thermo Scientific, Alemanha). As soluções analíticas dos íons metálicos de Mn, Zn, Fe e Mg foram preparadas diariamente a partir de diluições de soluções padrão de 1000 mg L^{-1} (SpecSol) até a concentração desejada.

2.3 Equipamentos e parâmetros instrumentais

A determinação de Mn, Fe, Zn e Mg foi conduzida em um espectrômetro de absorção atômica (Varian, AA 220) com chama de ar/acetileno na vazão de $3,5 \text{ L min}^{-1}$ e $1,5 \text{ L min}^{-1}$, respectivamente, equipado com lâmpadas de cátodo oco para cada elemento analisado. Para a análise de Mn, Mg e Zn foram utilizadas lâmpadas multielementares (Agilent, Photron) operando em 279,5 nm com corrente de 4,0 mA e largura de fenda de 0,2 nm (Mn); 285,2 nm, com corrente de 0,4 mA e largura de fenda de 0,5 nm (Mg); 213,9 nm com uma corrente de lâmpada de 5 mA e largura de fenda de 1 nm (Zn). Para a análise de Fe foi utilizada uma lâmpada monoelementar (Varian) operando em 248,3 nm, com corrente de 5 mA e largura de fenda de 0,2 nm.

Os materiais utilizados foram previamente lavados com detergente neutro e enxaguados com água destilada e com água ultrapura. Em seguida, foram mantidos em banho de ácido nítrico 5% (v/v) por aproximadamente 24 h. Por fim, os materiais foram enxaguados duas vezes com água ultrapura e secos em bandejas plásticas previamente descontaminadas.

2.4 Preparo de Amostra

2.4.1 Amostragem em Suspensão

Para a amostragem em suspensão foi adotado o procedimento descrito por Andolfatto (2016) sem modificações. Para Mn, Zn e Fe a relação massa/volume utilizada foi de 2,0 a 3,5 g de amostra de melado de cana dissolvidos em 25 mL de água ultrapura, enquanto que para o Mg utilizou-se de 0,1 a 0,5 g de amostra dissolvida para 100 mL. Diluições foram realizadas quando necessário. Todas as análises foram realizadas em duplicata.

2.4.2 Digestão por Via Úmida

A digestão por via úmida foi realizada de acordo com o método descrito por Pohl et al. (2011), com modificações. Após a pesagem da amostra em bêquer de 100 mL, foram adicionados 10 mL de HNO_3 (1:1, v/v) e em seguida, a solução foi coberta com vidro de relógio e deixada sob aquecimento em banho de areia a 100 ± 10 °C, durante 3 horas. Posteriormente, foram adicionados 10 mL de H_2O_2 (35%, m/v) e a solução foi aquecida sob as mesmas condições até próximo à secura. Por fim, a solução foi transferida quantitativamente para um balão volumétrico e diluída com água ultrapura até o volume final. O mesmo procedimento foi adotado para o preparo dos brancos analíticos, em que a amostra de melado foi substituída por água ultrapura. Todas as análises foram realizadas em duplicata.

2.5 Validação do método

Para a validação intralaboratorial da amostragem em suspensão foram avaliados os parâmetros de linearidade, limites de detecção e de quantificação, precisão e exatidão, de acordo com recomendações de guias e de artigos da literatura (ARAUJO, 2009; AOAC, 2012; ANVISA, 2017; INMETRO, 2018; NATA, 2018). Todos os dados foram avaliados no nível de 95% de confiança utilizando o software estatístico *Minitab* for Windows versão 16.2.2 (MINITAB 2010, Minitab Incorporation, EUA, 2010).

2.5.1 Curvas Analíticas e Linearidade

As curvas analíticas foram construídas por dois métodos distintos: padronização externa (PE) com diluição dos padrões metálicos em solução aquosa; e padronização com simulação de matriz (SM) com diluição dos padrões em uma solução de açúcares contendo 1% (m/v) de glicose e 1% (m/v) de sacarose. O objetivo deste estudo foi investigar a presença de interferências da matriz de melado de cana na determinação dos metais avaliados. As curvas de calibração foram construídas dentro da faixa linear de cada elemento (0,3 a 1,5 mg L⁻¹ para Mn, 0,1 a 1,2 mg L⁻¹ para Zn, 1,0 a 5,0 mg L⁻¹ para Fe e 0,2 a 0,8 mg L⁻¹ para Mg) sendo cada ponto analisado em duplicata. A linearidade das curvas analíticas foi avaliada pela aplicação da técnica de regressão

linear e do teste de falta de ajuste (ARAUJO, 2009).

2.5.2 Limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ)

Os valores de LD e LQ foram estimados utilizando os dados da equação da curva analítica de padrão externo de cada metal (ARAUJO, 2009). A determinação dos respectivos limites foi realizada a partir do desvio padrão (S_B) de 10 medidas consecutivas do controle analítico (branco) e do coeficiente angular (b) da curva analítica, de acordo com as equações: $LD = (3,3 S_B/b)$ e $LQ = (10 S_B/b)$.

2.5.3. Exatidão

A exatidão foi avaliada pela comparação dos resultados da amostragem em suspensão com os dados da digestão por via úmida, aplicando-se um teste-*t* pareado, nas doze amostras de melado de cana avaliadas (WERNIMONT, 1985).

2.5.4 Precisão

A precisão foi avaliada através da comparação das variâncias ponderadas (S_p^2) de cada um dos métodos de preparo de amostra (amostragem em suspensão e digestão por via úmida), pela aplicação de um teste-*F* e pelo cálculo de intervalos de confiança para a razão entre as variâncias ponderadas (WERNIMONT, 1985).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Curvas analíticas e linearidade

A melhor forma de calibração para a quantificação de Mn, Zn, Fe e Mg em melado de cana empregando a técnica de FAAS foi estudada avaliando-se dois métodos de padronização (padrão externo e simulação de matriz). Para cada metal avaliado foram construídas curvas analíticas em dois meios distintos: em solução aquosa e em solução contendo 1% (m/v) de glicose e 1% (m/v) de sacarose. O estudo das curvas analíticas foi realizado com o objetivo de verificar se a matriz de melado de cana poderia interferir na determinação de metais por FAAS. Além da forma de calibração, também foi avaliada a linearidade das curvas através de testes estatísticos, em um nível de 95% de confiança. Estes resultados são apresentados nas Tabelas 1 e 2.

A comparação dos intervalos de confiança das curvas analíticas de PE e de SM (Tabela 1) para todos os metais confirmaram a ausência de efeito de matriz significativa. Desta forma, as determinações de Mn, Zn, Fe e Mg em amostras de melado de cana foram realizadas por curvas analíticas de padrão externo. No entanto, para verificar se os resultados são linearmente proporcionais à concentração do analito de interesse, dentro da faixa especificada, foi realizado o estudo de linearidade das curvas analíticas

(ARAÚJO, 2009; NATA, 2018) e os resultados são mostrados na Tabela 2.

Metal	Faixa Linear (mg L ⁻¹)	Tipo de Calibração ^a	Parâmetros da regressão linear		
			Equação da reta ^b	r	R ²
Mn	0,3 – 1,5	PE	$A = 0,00163 + 0,0543 (\pm 0,003) [\text{Mn}]$	0,998	99,6
Mn			$A = -0,00346 + 0,0529 (\pm 0,003) [\text{Mn}]$	0,997	99,5
Zn	0,1 – 1,2	PE	$A = -0,0306 + 0,0610 (\pm 0,004) [\text{Zn}]$	0,996	99,2
Zn			$A = -0,0305 + 0,0572 (\pm 0,002) [\text{Zn}]$	0,998	99,7
Fe	1,0 – 5,0	PE	$A = 0,0029 + 0,0682 (\pm 0,004) [\text{Fe}]$	0,998	99,5
Fe			$A = 0,0182 + 0,0673 (\pm 0,006) [\text{Fe}]$	0,993	98,7
Mg	0,2 – 0,8	PE	$A = 0,0305 + 0,2550 (\pm 0,015) [\text{Mg}]$	0,998	99,6
Mg			$A = 0,0433 + 0,2530 (\pm 0,019) [\text{Mg}]$	0,996	99,3

Tabela 1 - Parâmetros das curvas analíticas aplicadas na quantificação de Mn, Zn, Fe e Mg em melado de cana por FAAS.

^aPE = calibração por padrão externo e SM = calibração por simulação de matriz; ^b os intervalos de confiança da inclinação das curvas de PE e de SM são apresentados entre parênteses na equação da reta

Metal	Faixa Linear (mg L ⁻¹)	Validação de Linearidade				
		Tipo de Calibração ^c	Regressão		Falta de ajuste	
Metal	Faixa Linear (mg L ⁻¹)		F _{obs.}	Valor de p	F _{faj}	Valor de p
Mn	0,3 – 1,5	PE	2149,5 ^a	0,000	0,63 ^c	0,629
Mn		SM	1828,3 ^a	0,000	0,38 ^c	0,773
Zn	0,1 – 1,2	PE	1130,4 ^a	0,000	1,32 ^c	0,367
Zn		SM	3412,2 ^a	0,000	3,91 ^c	0,088
Fe	1,0 – 5,0	PE	1934,1 ^a	0,000	0,98 ^c	0,471
Fe		SM	689,1 ^a	0,000	0,42 ^c	0,748
Mg	0,2 – 0,8	PE	1715,5 ^b	0,000	2,78 ^d	0,175
Mg		SM	1007,9 ^b	0,000	0,01 ^d	0,986

Tabela 2 - Avaliação estatística da linearidade das curvas analíticas para a quantificação de Mn, Zn, Fe e Mg em melado de cana por FAAS.

$$^aF_{\text{crítico (0,05;1,8)}} = 5,318; ^bF_{\text{crítico (0,05; 1,6)}} = 5,987; ^cF_{\text{crítico (0,05;3,5)}} = 5,409; ^dF_{\text{crítico (0,05; 2, 4)}} = 6,940$$

Os elevados valores de $F_{regressão}$ indicaram que os modelos gerados pelos dados das curvas analíticas estabelecem uma relação linear entre a concentração e a absorbância, para todos os metais avaliados (NATA, 2018). Esse fato é ressaltado pelos valores de $p = 0,000$, indicando que dentro do nível de significância utilizado (95% de confiança), os valores de $F_{regressão}$ são altamente significativos (ARAUJO, 2009). Para verificar se os modelos lineares se ajustavam bem aos dados experimentais foi aplicado um teste de falta de ajuste, no mesmo nível de confiança (Tabela 2). Para todas as curvas analíticas avaliadas, os valores de F_{faj} foram inferiores aos valores de $F_{crítico}$ com $p > 0,05$. Tal comportamento sugere que a regressão linear é altamente significativa para todas as curvas analíticas estudadas, sem falta de ajuste dos modelos lineares e que estas podem ser utilizadas para a determinação de Mn, Zn, Fe e Mg em amostras de melado de cana por F AAS.

3.2 Limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ)

As sensibilidade foi avaliada por meio dos limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ). Os valores de LD e de LQ para o método de amostragem em suspensão foram de 0,02 e 0,07 mg L⁻¹ para Mn, 0,01 e 0,03 mg L⁻¹ para Zn, 0,03 e 0,12 mg L⁻¹ para Fe, 0,01 e 0,02 mg L⁻¹ para Mg, respectivamente.

Tendo em vista que os valores de LD e de LQ para os quatro metais foram inferiores aos primeiros pontos das curvas analíticas assume-se que os analitos podem ser quantificados com precisão e exatidão adequadas na faixa linear de concentrações investigadas (INMETRO, 2018). Como não foram encontrados trabalhos envolvendo o desenvolvimento e a validação de técnicas de espectrometria atômica usando a amostragem em suspensão para amostras de melado de cana, os valores de LD e de LQ deste estudo foram considerados adequados.

É válido ressaltar que os limites de quantificação do método proposto de amostragem em suspensão apresentaram valores inferiores aos determinados pelo método de digestão por via úmida (valores de LD e LQ de 0,05 e 0,16 mg L⁻¹ para Mn, 0,17 e 0,57 mg L⁻¹ para Zn, 0,10 e 0,33 mg L⁻¹ para Fe e de 0,01 e 0,03 mg L⁻¹ para Mg, respectivamente). Os limites foram melhorados por um fator de 2,0 para o Mn, 20,0 para o Zn, 3,0 para o Fe e 2,0 para o Mg. Este melhoramento dos limites pode ser explicado pelo método de amostragem em suspensão limitar o uso de outros reagentes e de temperaturas elevadas, ou seja, o preparo da amostra é realizado pela simples diluição da amostra de melado em água, diminuindo a possibilidade de contaminação da solução e desta forma, aumentando a sensibilidade do método.

3.3 Precisão e exatidão

As estimativas de precisão e de exatidão dos métodos de preparo de amostra comparados neste trabalho foram avaliadas por diferentes testes estatísticos

considerando os teores dos metais determinados em doze amostras de melado de cana os quais foram expressos como médias e desvios padrão (Tabela 3).

Para os metais Mn, Zn, Fe e Mg foi possível observar que a partir da análise do teste-*F* de comparação das variâncias dos métodos de preparo de amostra (Tabela 3) não existem diferenças significativas entre a precisão da amostragem em suspensão em relação ao método de referência (digestão por via úmida), pois os valores de $F_{calculado}$ (1,19 para Mn, 1,07 para Zn, 1,54 para Fe e 3,03 para Mg) foram inferiores ao valor de $F_{crítico}$ (3,72) com $p > 0,05$. Para confirmar a precisão dos métodos de preparo de amostra, foram construídos intervalos de confiança para a razão das variâncias de cada um dos metais avaliados, no nível de 95% de confiança. Os intervalos de confiança (0,41 – 4,96 para Mn, 0,33 – 3,51 para Zn, 0,47 – 5,06 para Fe e 0,92 – 9,91 para Mg) apresentam limites inferiores a 1, confirmando que não existem diferenças significativas de precisão entre os métodos de preparo de amostra estudados (WERNIMONT, 1985).

A análise do teste-*t* pareado dos dados apresentados na Tabela 3, sugeriu que não existem diferenças significativas nos teores de Mn, Zn, Fe e Mg determinados pela amostragem em suspensão em relação aos resultados da digestão por via úmida, uma vez que os valores encontrados de $t_{observado}$ (0,17 para Mn, 1,68 para Zn, 1,22 para Fe e 1,58 para Mg) apresentaram-se inferiores ao valor do $t_{crítico}$ (2,228) com valor de $p > 0,05$.

Desta forma, o procedimento de amostragem em suspensão apresenta exatidão adequada em relação a digestão por via úmida para determinação de Mn, Zn, Fe e Mg em amostras de melado de cana por F AAS.

Amostra	Concentração Média (mg 100 g ⁻¹) ± DP							
	Mn		Zn		Fe		Mg	
	AS	VU	AS	VU	AS	VU	AS	VU
M 01	0,48 ± 0,01 ± 0,00	0,52 0,00	0,11 ± 0,00	0,10 ± 0,00	0,95 ± 0,02	1,11 ± 0,01	71,2 ± 0,9	71,3 ± 0,3
M 02	0,77 ± 0,06 ± 0,02	0,90 0,00	0,52 ± 0,00	0,62 ± 0,09	5,65 ± 0,07	5,11 ± 0,02	43,9 ± 0,1	41,7 ± 0,1
M 03	0,37 ± 0,03 ± 0,00	0,35 0,00	0,16 ± 0,00	0,19 ± 0,04	8,79 ± 0,13	8,39 ± 0,09	58,0 ± 0,4	54,1 ± 0,1
M 04	0,97 ± 0,01 ± 0,02	0,93 0,00	0,26 ± 0,00	0,29 ± 0,01	3,24 ± 0,03	3,59 ± 0,03	44,5 ± 1,1	40,6 ± 0,3
M 05	1,79 ± 0,00 ± 0,02	1,90 0,00	0,77 ± 0,00	0,76 ± 0,02	2,55 ± 0,02	2,76 ± 0,06	67,7 ± 0,5	64,7 ± 1,1
M 06	1,98 ± 0,03 ± 0,01	1,99 0,00	0,55 ± 0,00	0,57 ± 0,00	6,56 ± 0,05	7,2 ± 0,2	87,0 ± 0,7	76,2 ± 0,4

M 07	0,48 ± 0,01	0,53 ± 0,00	0,18 ± 0,00	0,20 ± 0,00	4,53 ± 0,00	4,68 ± 0,01	12,0 ± 0,4	8,9 ± 0,5
M 08	3,19 ± 0,02	3,15 ± 0,04	0,63 ± 0,01	0,56 ± 0,09	16,57 ± 0,06	17,2 ± 0,3	346,6 ± 0,8	355 ± 3
M 09	< LQ	< LQ	0,15 ± 0,00	0,15 ± 0,00	2,76 ± 0,00	2,9 ± 0,2	50,0 ± 0,6	49 ± 1
M 10	0,67 ± 0,01	0,63 ± 0,02	0,28 ± 0,00	0,35 ± 0,02	9,8 ± 0,8	7,9 ± 0,2	182,5 ± 0,9	191,4 ± 4,5
M 11	2,85 ± 0,03	2,84 ± 0,00	0,53 ± 0,02	0,55 ± 0,01	11,0 ± 0,4	9,7 ± 0,3	373,3 ± 0,1	320 ± 2
M 12	3,33 ± 0,00	3,19 ± 0,07	0,33 ± 0,01	0,37 ± 0,02	10,88 ± 0,07	8,5 ± 0,4	381 ± 3	346,8 ± 2,5

Tabela 3 - Teores médios e respectivos desvios padrão de Mn, Zn, Fe e Mg nas amostras de melado e melão de cana obtidos pelo emprego de métodos de preparação de amostra distintos (análise direta por amostragem em suspensão e digestão por via úmida).

^aOs desvios-padrão foram calculados a partir de duplicatas de cada um dos métodos de preparo de amostra investigados; AS = amostragem em suspensão e VU = digestão por via úmida

4 | CONCLUSÃO

O estudo de validação intralaboratorial demonstrou que a amostragem em suspensão de melado de cana é um método de preparo de amostra adequado para a determinação direta de Mn, Zn, Fe e Mg por espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS), uma vez que os parâmetros de validação avaliados (linearidade, limites de detecção e de quantificação, precisão e exatidão) encontram-se dentro dos critérios recomendados pela literatura.

É valido ressaltar também que a amostragem em suspensão, como um método de análise direta, representa uma valiosa contribuição para a química analítica e para a química verde, pois não faz uso de reagentes tóxicos, além de apresentar diversas vantagens como simplicidade, rapidez e baixo custo. Desta forma, esta metodologia de preparo de amostras poderia ser aplicada no controle de qualidade de amostras de melado de cana em laboratórios de indústrias, de pesquisa, de controle de qualidade ou de fiscalização.

REFERÊNCIAS

AKINYELE, I. O.; SHOKUNBI, O. S. Comparative analysis of dry ashing and wet digestion methods for the determination of trace and heavy metals in food samples. *Food Chemistry*, v. 173, p. 682-684, 2015.

ANDOLFATTO, S. Desenvolvimento e Validação de Metodologia Analítica para a Determinação Direta de Mn, Zn, Fe e Mg em Melado e Melão de Cana utilizando a Espectrometria de Absorção Atômica em Chama (FAAS). 2016. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2016.

ANDRADE, C. K. de; ANJOS, V. E. dos; FELSNER, M. L.; TORRES, Y. R.; QUINÁIA, S. P. **Direct determination of Cd, Pb and Cr in honey by slurry sampling electrothermal atomic absorption spectrometry**. Food Chemistry, v. 146, p. 166–173, 2014.

ANDRADE, C. K. de; BRITO, P. M. K. de; ANJOS, V. E. dos; QUINÁIA, S. P. **Determination of Cu, Cd, Pb and Cr in yogurt by slurry sampling electrothermal atomic absorption spectrometry: A case study for Brazilian yogurt**. Food Chemistry, v. 240, p. 268–274, 2018.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 271, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para açúcares e produtos para adoçar. **Diário Oficial da União**, 23 set. 2005.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 166, de 24 de julho de 2017. Critérios para a Validação de Métodos Analíticos. **Diário Oficial da União**, n. 141, 25 julho 2017.

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Guidelines for Standard Method Performance Requirements: Appendix F**, 2012. 17 p.

ARAUJO, P. **Key aspects of analytical method validation and linearity evaluation**. Journal of Chromatography B, v. 877, p. 2224-2234, 2009.

BRANDÃO, G. C.; AURELIANO, M. de O.; SAUTHIER, M. C. da S.; SANTOS, W. N. L. dos. **Photo-oxidation using UV radiation as a sample preparation procedure for the determination of copper in fruit juices by flame atomic absorption spectrometry**. Analytical Methods, v. 4, p. 855-858, 2012.

CABALLERO, B.; TRUGO, L.; FINGLAS, P. **Encyclopedia of food sciences and nutrition**. Baltimore: Academic Press, 2003. 6289 p.

CARVALHO, R. F. **Beneficiamento dos derivados da cana de açúcar (melado açúcar mascavo)**. Dossiê Técnico. Rede de Tecnologia da Bahia, 2007. 21 p.

CINDRIĆ, I.J.; KRIZMAN, I.; ZEINER, M.; KAMPIĆ, S.; MEDUNIĆ, G.; STINGEDE, G. **ICP-AES determination of minor- and major elements in apples after microwave assisted digestion**. Food Chemistry, v. 135, p. 2675-2680, 2012.

FRAGA, C.G. **Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health**, Molecular Aspects of Medicine, v. 26, p. 235-244, 2005.

GROMBONI, C. F.; CARAPELLI, R.; PEREIRA-FILHO, E. R.; NOGUEIRA, A. R. A. **Evaluation of Different Sample Preparation Procedures Using Chemometrics: Comparison Among Photo-Fenton Reaction, Microwave Irradiation, and Direct Determination of Minerals in Fruit Juices**. Food Analytical Methods, v. 3, p. 98-103, 2010.

GUPTA, U. C.; GUPTA, S. C. **Sources and Deficiency Diseases of Mineral Nutrients in Human Health and Nutrition: A Review**. Pedosphere, v. 24, p. 13-38, 2014.

GÜRKAN, R.; AKSOY, U.; ULUSOY, H. I.; AKÇAY, M. **Determination of low levels of molybdenum (VI) in food samples and beverages by cloud point extraction coupled with flame atomic absorption spectrometry**. Journal of Food Composition and Analysis, v. 32, p. 74-82, 2013.

GÜRKAN, R.; ALTUNAY, N. **Determination of total Sn in some canned beverages by FAAS after separation and preconcentration**. Food Chemistry, v. 117, p. 102-110, 2015.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. DOQCGCRE-008: **Orientação Sobre Validação de Métodos Analíticos**. Revisão 07. 2018.

KHAJEH, M.; SANCHOOLI, E. **Optimization of Microwave-Assisted Extraction Procedure for Zinc and Iron Determination in Celery by Box-Behnken Design.** Food Analytical Methods, v. 3, p. 75-79, 2010.

KORN, M. G. A.; BOA MORTE, E. S. da; SANTOS, D. C. M. B. dos; CASTRO, J. T.; BARBOSA, J. T. P.; TEIXEIRA, A. P.; FERNANDES, A. P.; WELZ, B.; SANTOS, W. P. C. dos; SANTOS, E. B. G. N. dos; KORN, M. **Sample preparation for determination of metals in food samples using spectroanalytical methods – a review.** Applied Spectroscopy Reviews, v. 43, p. 67-92, 2008.

LLORENT-MARTÍNEZ, E. J.; CÓRDOVA, M. L. F. de; RUIZ-MEDINA, A.; ORTEGABARRALES, P. **Analysis of 20 trace and minor elements in soy and dairy yogurts by ICP-MS.** Microchemical Journal, v. 102, p. 23-27, 2012.

MILIKAN, M. Nutritional Metals in Foods by AAS. In: FARRUKH, M. A. (ed.). **Atomic Absorption Spectroscopy.** Rijeka: InTech, 2012.

NATA. National Association of Testing Authorities. **Guidelines for the validation and verification of quantitative and qualitative test methods.** 2018.

NUNES, A. M.; SOUSA, R. A. de; SILVA, C. S. da; PEIXOTO, R. R. A.; VIEIRA, M. A.; RIBEIRO, A. S.; CADORE, S. **Fast determination of Fe, Mg, Mn, P and Zn in meat samples by inductively coupled plasma optical emission spectrometry after alkaline solubilization.** Journal of Food Composition and Analysis, v. 32, p. 1-5, 2013.

POHL, P. **Determination of metal content in honey by atomic absorption and emission spectrometries.** Trends in Analytical Chemistry, v. 28, p. 117-128, 2009.

POHL, P.; SERGIEL, I. **Direct determination of the total concentrations of copper, iron and manganese and their fractionation forms in freshly ripened honeys by means of flame atomic absorption spectrometry.** Microchimica Acta, v. 168, p. 9-15, 2010.

POHL, P.; SERGIEL, I.; PRUSISZ, B. **Direct analysis of honey for the total content of Zn and its fractionation forms by means of flame atomic absorption spectrometry with solid phase extraction and ultrafiltration approaches.** Food Chemistry, v. 125, p. 1504- 1509, 2011.

POHL, P.; STELMACH, E.; SZYMCZYCHA-MADEJA, A. **Simplified sample treatment for the determination of total concentrations and chemical fractionation forms of Ca, Fe, Mg and Mn in soluble coffees.** Food Chemistry, v. 163, p. 31-36, 2014.

RODRÍGUEZ-SOLANA, R.; SALGADO, J. M.; DOMÍNGUEZ, J. M.; CORTÉS, S. **Assessment of minerals in aged grape marc distillates by FAAS/FAES and ICP-MS: Characterization and safety evaluation.** Food Control, v. 35, p. 49-55, 2014.

SANTOS, J. M. dos; QUINÁIA, S. P.; FELSNER, M. L. **Fast and direct analysis of Cr, Cd and Pb in brown sugar by GF AAS.** Food Chemistry, v. 260, p. 19-26, 2018.

SANTOS, J. M. dos; ANDRADE, J. K. de; GALVÃO, F.; FELSNER, M. L. **Optimization and validation of ultrasound-assisted extraction for the determination of micro and macrominerals in non-centrifugal sugar by F AAS.** Food Chemistry, v. 292, p. 66-74, 2019.

WERNIMONT, G. T. **Use of statistics to develop and evaluate analytical methods.** 1. ed. Virginia: AOAC International, 1985. 183 p.

COMPARAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE 12 CIDADES PARAENSES

Whesley Thiago dos Santos Lobato

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Campus Belém, Pará.

Antonio Maricélio Borges de Souza

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal, SP.

Maurício Souza Martins

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Campus de Capitão Poço, Pará.

Luã Souza de Oliveira

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Campus de Capitão Poço, Pará.

Bruno Maia da Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Campus de Capitão Poço, Pará.

Maria Sidalina Messias de Pina

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Campus de Capitão Poço, Pará.

Daniella Amor Cunha da Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Campus de Capitão Poço, Pará.

Antonio Elson Ferreira Borges

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Campus de Capitão Poço, Pará.

Arthur da Silva Monteiro

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Campus de Capitão Poço, Pará.

Lucas Guilherme Araujo Soares

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Campus de Capitão Poço, Pará.

Caio Douglas Araújo Pereira

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Campus de Capitão Poço, Pará.

Lívia Tálita da Silva Carvalho

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)
Campus de Capitão Poço, Pará.

RESUMO: A quantidade e a distribuição de chuvas que ocorrem anualmente em uma região determinam o tipo de vegetação natural e também o modo de exploração agrícola predominante. O conhecimento sobre a frequência de chuva se torna mais necessário em regiões tropicais úmidas, como é o caso do estado do Pará. O objetivo do presente estudo foi analisar qual a média anual de cada uma das doze cidades pesquisadas, com base no total de chuva anual entre 2000 e 2015, quais os anos de maiores e menores precipitações de cada cidade, assim como, a uniformidade da pluviosidade, coeficiente de variação e a cidade com maior e com menor média pluviométrica. Para o desenvolvimento da presente pesquisa, coletou-se dados provenientes de doze estações meteorológicas convencionais presentes no estado do Pará, todas conveniadas com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram utilizados dados das estações meteorológicas situadas em Altamira, Belém, Belterra, Cametá, Conceição do Araguaia, Itaituba, Marabá, Monte Alegre,

Soure, Tracuateua, Breves, Tucurui. Analisou-se o quanto de precipitação cada cidade teve entre os anos de 2000 à 2015, fez-se a média aritmética, variação, desvio padrão, coeficiente de variação, máxima e mínima precipitação. O município de Belém apresentou a maior média de chuvas, e o menor coeficiente de variação. O maior coeficiente de variação foi observado no município de Tracuateua. A menor média de precipitação ocorreu no município de Conceição do Araguaia.

PALAVRAS-CHAVE: Análise, chuva, meteorologia.

COMPARISON OF RAINFALL OF 12 CITIES IN PARÁ

ABSTRACT: The amount and distribution of rainfall occurring annually in a region determines the type of natural vegetation and also the predominant mode of farming. The objective of the present study was to analyze the annual average of each of the twelve cities surveyed, based on total rainfall annually between 2000 and 2015, the years of highest and lowest rainfall in each city, as well as the rainfall uniformity, coefficient of variation and the city with the highest and lowest rainfall. For the development of the present research, data were collected from twelve conventional meteorological stations in the state of Pará, all of them agreed with the National Institute of Meteorology (INMET). Data from the meteorological stations located in Altamira, Belém, Belterra, Cametá, Conceição do Araguaia, Itaituba, Marabá, Monte Alegre, Soure, Tracuateua, Breves and Tucurui were used. It was analyzed the amount of precipitation each city had between the years 2000 to 2015, the arithmetic mean, variation, standard deviation, coefficient of variation, maximum and minimum precipitation were made. The municipality of Belém presented the highest average rainfall, and the lowest coefficient of variation. The highest coefficient of variation was observed in the city of Tracuateua. The lowest mean precipitation occurred in the municipality of Conceição do Araguaia.

KEYWORDS: Analysis, rain, meteorology.

1 | INTRODUÇÃO

O estudo da precipitação pluviométrica das regiões é indispensável para que se tenha uma boa administração dos recursos hídricos do país, “este caracteriza-se por ser a quantidade de chuva por metro quadrado em determinado local por um período de tempo, o índice pluviométrico é medido em milímetros-mm” (INPE, 2015). A gestão adequada dos recursos hídricos irá proporcionar benefícios a todos os seres vivos, e tratando-se dos vegetais, “a disponibilidade de água é um fator limitante para seu desenvolvimento”, Kist e Filho (2015), relatam que a chuva é um dos fatores que mais favorecem alterações ambientais em um agroecossistema, pois interferem na caracterização do microclima local, influenciando na temperatura, umidade do ar, nebulosidade e na incidência da radiação solar, e todos esses aspectos afetam de forma direta o desenvolvimento das plantas.

Os vegetais possuem diferentes percentuais de evapotranspiração, portanto, o conhecimento pluviométrico ao se referir à produção agronômica é fundamental. “A

quantidade e a distribuição de chuvas que ocorrem anualmente em uma região determinam o tipo de vegetação natural e também o modo de exploração agrícola predominante" (BURIOL et al., 2007).

A instável pluviosidade em algumas regiões não impede que certas cidades produzam culturas com alta produtividade, no entanto, tais irregularidades como a seca ou demasiadas enxurradas nas localidades de produção podem afetar o desenvolvimento contínuo das plantas. "Em geral, as mudanças climáticas locais são medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas, a exemplo da temperatura do ar e da precipitação pluvial". (SOUZA e AZEVEDO, 2012).

O conhecimento sobre a frequência de chuva se torna mais necessário em regiões tropicais úmidas, como é o caso do estado do Pará, onde ao contrário das regiões fora dos trópicos em que a estação para crescimento das plantas é regulada pela temperatura, nesse Estado o elemento regulador é a chuva, uma vez que a variação térmica é pouco expressiva (BASTOS e PACHÊCO, 2005).

De acordo com Bittencourt et al. (2013), às chuvas sofrem grandes variações de distribuição temporal e espacial no estado do Pará devido à sua grande extensão territorial, o que proporciona um período chuvoso que começa mais cedo nas regiões sudeste do estado e mais tarde nas regiões Nordeste. Esta irregularidade das chuvas interfere nos processos de produção o que torna indispensável o conhecimento dos períodos de maior e menor incidência de chuva, que em conformidade com Souza et al. (2015) a água é fundamental para o homem do campo, sobretudo aqueles que sofrem com chuvas irregulares ao longo dos anos.

Estudos realizados por Albuquerque et al. (2010), mostram que a distribuição da precipitação média anual no Pará tem maiores índices concentrados na região do Nordeste paraense que engloba as mesorregiões do Marajó, Metropolitana de Belém e Nordeste Paraense atingindo uma média superior a 2000 mm, com destaque para a região Metropolitana de Belém que apresenta os maiores índices de pluviosidade do estado do Pará.

Considerando a importância da precipitação pluviométrica para o desenvolvimento e manutenção de todos os componentes dos agroecossistemas, este trabalho teve o objetivo de contrastar os índices chuvosos de doze cidades, a fim, de verificar qual a média anual de cada uma, com base no total de chuva anual entre os anos de 2000 a 2015, averiguar saber também saber quais os anos de maiores e menores precipitações de cada cidade, assim como, a uniformidade da pluviosidade, coeficiente de variação e a cidade com maior e com menor média pluviométrica.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento da presente pesquisa, coletou-se dados provenientes de doze estações meteorológicas convencionais presentes no estado do Pará, todas

conveniadas com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Foram utilizados dados das estações meteorológicas situadas em Altamira (latitude de -3.216667°, longitude de -52.216667° e altitude de 74,04 metros), Belém (latitude de -1.433333°, longitude de -48.433333° e altitude de 10 metros), Belterra (latitude de -2,633333°, longitude de -54,95° e altitude de 175,74 metros), Breves (latitude de -1,683333°, longitude de -50,483333° e altitude de 14,74 metros), Cametá (latitude de -2,25°, longitude de -49,5° e altitude de 23,9 metros), Conceição do Araguaia (latitude de -8,266667°, longitude de -49,266667° e altitude de 156,85 metros), Itaituba (latitude de -4,283333°, longitude de -55,983333° e altitude de 45 metros), Marabá (latitude de -5,366667°, longitude de -49,133333° e altitude de 95 metros), Monte Alegre (latitude de -2°, longitude de -54,1° e altitude de 145,85 metros), Soure (latitude de -0,733333°, longitude de -48,516667° e altitude de 10,49 metros), Tracuateua (latitude de -1.066667°, longitude de -46.9° e altitude de 36 metros) e Tucuruí (latitude de -3,766667°, longitude de -49.666667° e altitude de 40 metros).

Os dados utilizados foram obtidos na biblioteca da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus descentralizado de Capitão Poço, estado do Pará, abrangendo o período de 2000 à 2015. As observações realizadas referem-se às precipitações pluviais anuais, encontradas a partir dos dados mensais disponibilizadas pelo INMET.

Realizou-se as seguintes estatísticas: média aritmética (X), mediana (Md), variância (s^2), desvio padrão (s), valor mínimo (Min), valor máximo (Max), coeficiente de variação (CV) e ainda, fez-se a representação gráfica de cada mês ao longo dos anos analisados, para verificar se houve uma distribuição uniforme.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da obtenção das precipitações anuais de cada cidade, é possível fazer uma análise de cada uma individualmente. A cidade de Belém foi de longe a que apresentou a maior média de chuva entre os anos de 2000 e 2015 (Tabela 1), enquanto os municípios de Marabá e Conceição do Araguaia foram estatisticamente semelhantes como os representantes de menor pluviosidade. Dados semelhantes foram obtidos por Albuquerque et al. (2010), onde os menores índices de precipitação foram oriundos da mesorregião do Sudoeste paraense, região em que se localiza os municípios de Marabá e conceição do Araguaia, enquanto que os maiores índices de precipitação ocorrem no nordeste do estado, onde se localizam as mesorregiões do Marajó, Nordeste e mesorregião Metropolitana de Belém.

Cidades	X	s	CV	Md	Máx	Mín
Altamira	2211,79	308,22	13,93	2140,45	2740,1	1618,4
Belém	3346,46	298,37	8,92	3398,65	3775,6	2769,4
Belterra	1990,91	331,73	16,66	2017	2435,7	1301,5
Breves	2278,67	296,81	13,02	2295,05	2889,8	1798,4

Cametá	2574,55	319,99	12,43	2551,65	3218,4	2111,3
Conceição do Araguaia	1793,44	277,63	15,48	1770,4	2370,1	1335,4
Itaituba	2108,93	307,67	14,59	2137,95	2718,9	1366,7
Marabá	1775,77	296,30	16,68	1701,6	2240,4	1335
Monte Alegre	1860,94	283,58	15,24	1949,4	2384,1	1472,2
Soure	2747,13	556,55	20,26	2564,55	3878,9	1949,9
Tracuateua	2338,16	500,50	21,41	2326,1	3284,3	1552,6
Tucuruí	2467,42	338,27	13,71	2419,15	3117	1869,4

Tabela 1 - Estatísticas da precipitação total anual (mm) das doze estações estudadas, no período de 2000 e 2015. X- Média aritimética; s- Desvio padrão; CV- Coeficiente de Variação; Md- Mediana; Máx- Valor máximo de precipitação e Min- Valor mínimo de precipitação.

É possível notar que mesmo se tratando de uma característica muito difícil de ocorrer de forma uniforme devido a fácil modificação climática, em todas as cidades analisadas ocorreu uma baixa variação ao longo dos anos trabalhados, onde o município de Tracuateua foi o que apresentou maior coeficiente de variação (21,41%). “Nota-se que a precipitação apresenta comportamento similar nas seis mesorregiões do estado do Pará.” (ALBUQUERQUE et al., 2010), o que confirma essa baixa variação climática no decorrer dos anos.

Ao longo dos 16 anos avaliados, na cidade de Belém a pluviosidade se mostrou bem uniforme, tendo 81,25% dos anos (treze anos) com precipitação superior a 3000 mm por ano. Tal dado se assemelha com o encontrado por Bastos et al. (2002). Apenas os anos 2002, 2003 e 2004 ficaram abaixo (Figura 1). O clima da cidade de Belém é classificado por Köppen-Geiger como Equatorial Úmido Af, que apresenta como característica não existir uma estação chuvosa definida, fazendo com que ocorra bons índices pluviométricos durante todo o ano (PEEL et al., 2007).

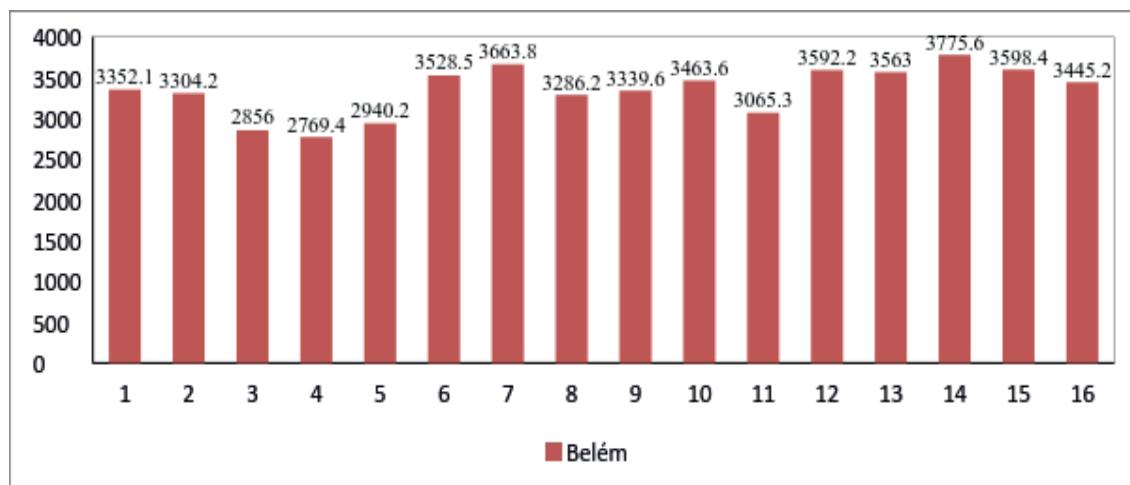


Figura 1 - Representação da precipitação pluviométrica de Belém entre 2000 e 2015.

O município de Altamira, pertencente a mesorregião Sudoeste Paraense, apresenta clima Tropical Am segundo a classificação de Köppen-Geiger caracterizada

por apresentar precipitações médias anuais superiores a 1500 mm (PEEL et al., 2007).

Durante o período analisado, percebeu-se que a média anual ficou superior a 2200 mm (Tabela 1), com um coeficiente de variação inferior a 14%. “A região onde Altamira se situa, o coeficiente de variação da pluviosidade se encontra entre 15-20%.” (MORAES et al., 2005).

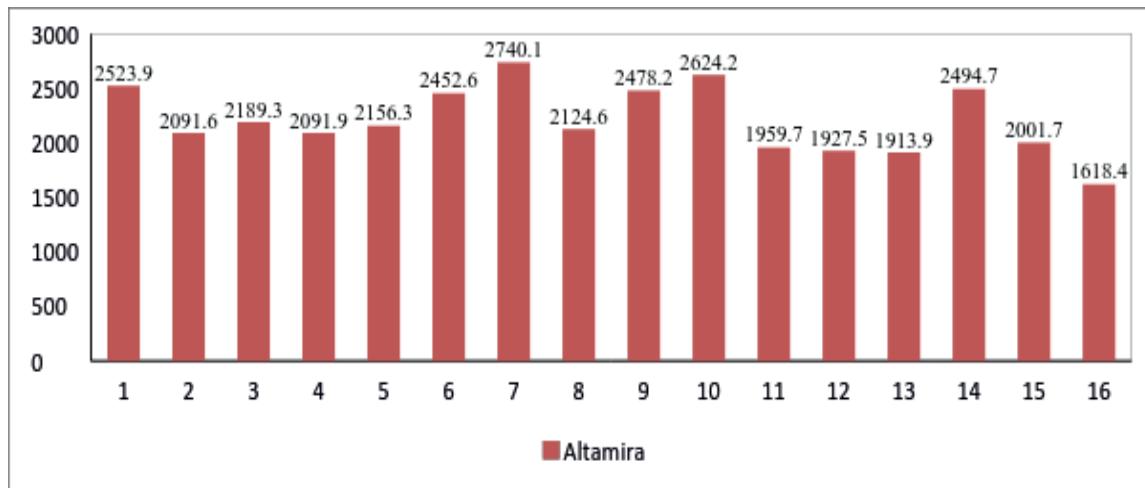


Figura 2 - Representação da precipitação pluviométrica de Altamira entre 2000 e 2015.

O município de Soure pertencente à mesorregião do Marajó, localizada no litoral paraense, apresentou a segunda maior média de pluviosidade entre os anos de 2000 a 2015 que atingiu valor de 2747,13 mm (Tabela 1). Para Souza (2012), este elevado valor de intensidade de precipitação pode ser justificado pela proximidade que o município se localiza do litoral, pois a configuração espacial da zona de baixa pressão da linha do Equador proporciona os ventos alísios, responsáveis por transportar umidade das zonas tropicais para a zona equatorial, provocando chuvas nesta região.

Durante o período verificado houve dois anos (2007 e 2015) que ficaram bem abaixo dessa média (Figura 1). Em contrapartida, também houve anos com uma quantidade de chuva superior a 3000 mm, tendo como destaque o ano 2000 e 2009.

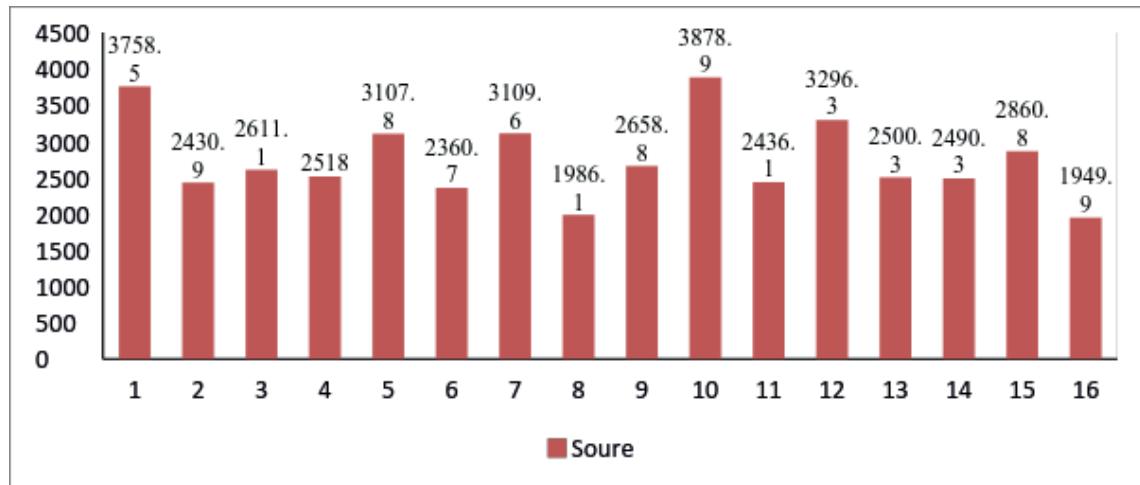


Figura 3 - Representação da precipitação pluviométrica de Soure entre 2000 e 2015.

Pertencente à mesorregião Nordeste Paraense, Cametá é o município com a terceira média anual de precipitação, ficando atrás somente de Belém e Soure, respectivamente. Onde a média durante 2000 e 2015 é de 2574,55 mm de chuva (Tabela 1).

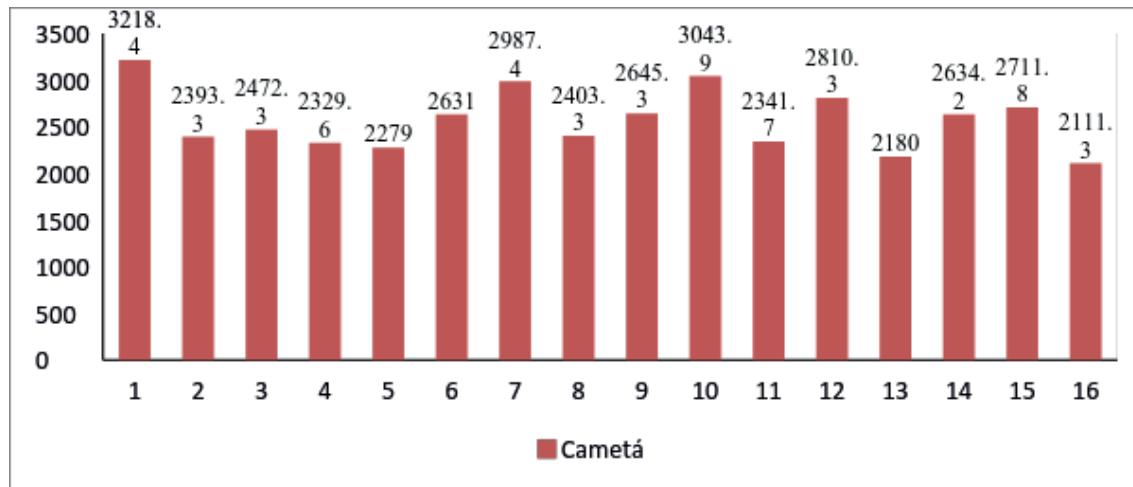


Figura 4 - Representação da precipitação pluviométrica de Cametá entre 2000 e 2015.

Durante a análise realizada, percebeu-se que o município atingiu em todos os anos uma precipitação superior a 2000 mm, mostrando uma uniformidade das chuvas, que é ratificada pelo seu baixo coeficiente de variação, de 12,43%, sendo o segundo município a apresentar o menor coeficiente de variação.

Outro representante da mesorregião do Marajó é o município de Breves, classificada por Köppen-Geiger com clima Equatorial Af (PEEL et al., 2007).

Entre os anos que foi realizada a análise foi obtido uma média de 2278,67 mm se aproximando no que foi encontrado por Moraes et al. (2005), onde a média de precipitação da região onde se localiza o município é de 2300 a 2800 mm anuais.

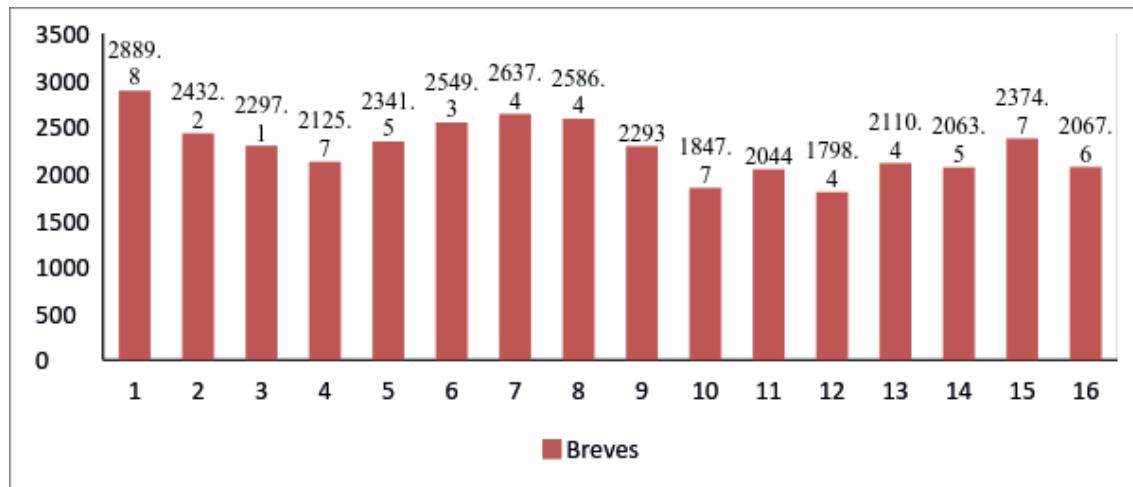


Figura 5 - Representação da precipitação pluviométrica de Breves entre 2000 e 2015.

Em Breves, o índice de chuva máximo foi encontrado em 2000, com 2889,8 mm e o ano que ocorreu a menor pluviosidade foi 2011, com 1798,4 mm. “Esta elevada

quantidade de água no ano de 2000 pode estar relacionada com o fenômeno La Niña que produzido pela Zona de Convergência Intertropical favorecem a ocorrência de precipitação acima do normal em grande parte da Amazônia Oriental.” (ALBUQUERQUE et al., 2010).

Apresentando classificação climática Tropical semi-úmido (Aw/As), segundo Köppen-Geiger (PEEL et al., 2007), o município de Tucuruí, localizado na mesorregião Sudeste Paraense, apresentou média de precipitação de 2467,42 mm entre 2000 e 2015 (Tabela 1).

Foi possível averiguar que Tucuruí assim como as demais cidades analisadas, apresenta um coeficiente de variação bem baixo, mostrando que anualmente existe uma precipitação total bem semelhante. Mas é claro que existe sempre anos com uma quantidade de chuvas abaixo da média, que em Tucuruí ocorreu no ano de 2004 (Figura 6).

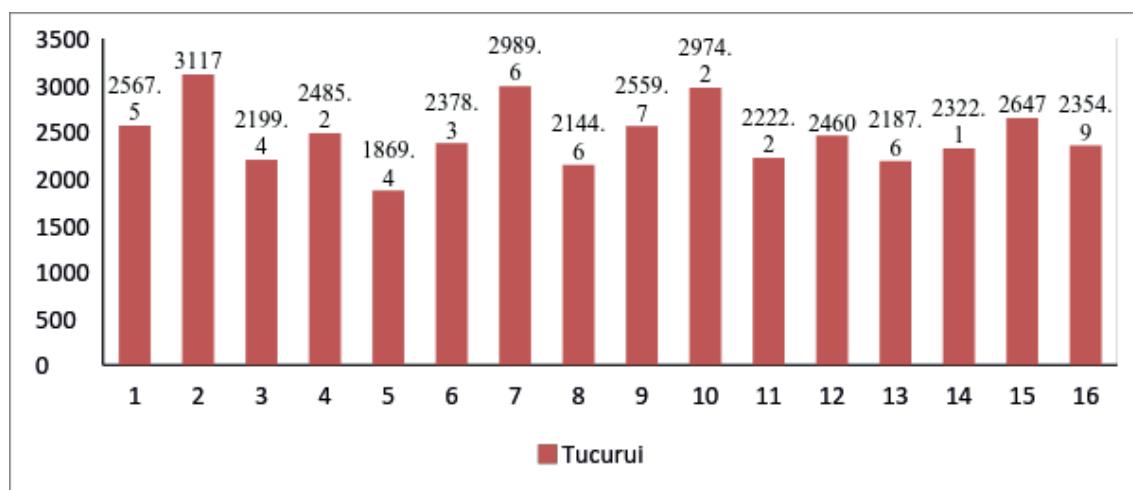


Figura 6 - Representação da precipitação pluviométrica de Tucuruí entre 2000 e 2015.

Marabá, localizada na mesorregião Sudeste Paraense, com classificação climática por Köppen-Geiger de Tropical semi-úmido Aw, que caracteriza uma estação seca de inverno e os dias são mais curtos (PEEL et al., 2007). Segundo Moraes et al. (2005), a média de precipitação onde Marabá se encontra varia entre 1300 a 1800 mm anuais e coeficiente de variação desta pluviosidade entre 20 e 25%.

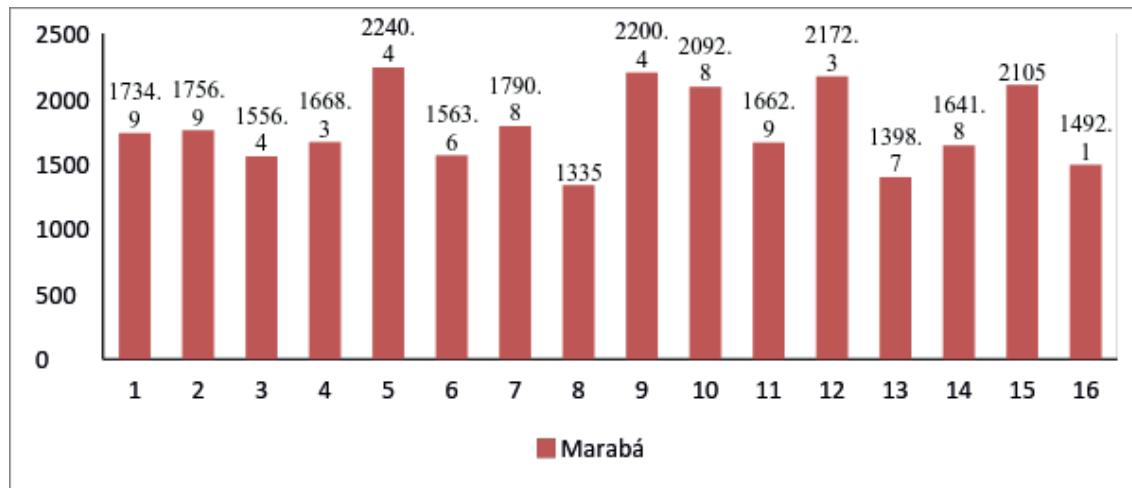


Figura 7 - Representação da precipitação pluviométrica de Marabá entre 2000 e 2015.

Com base nos dados coletados, percebeu-se que em 16 anos a média de chuvas da cidade foi de 1775,77 mm, o que se assemelha com os valores apresentados acima, obtidos por Moraes et al. (2005). As análises mostraram que para o município de Marabá o ano de 2007 teve menor pluviosidade (1335 mm) e o ano de 2004 a maior (2240,4 mm).

Outro município verificado foi Conceição do Araguaia, situada na mesorregião Sudeste Paraense, clima Tropical semi-úmido Aw (PEEL et al., 2007). Apresenta média pluviométrica e coeficiente de variação bem parecida com Marabá, e isso pode ser explicado devido ser pertencente a mesma região estadual. No ano de 2007, Conceição do Araguaia teve o menor índice de precipitação, enquanto no ano 2000 o maior índice (Figura 8).

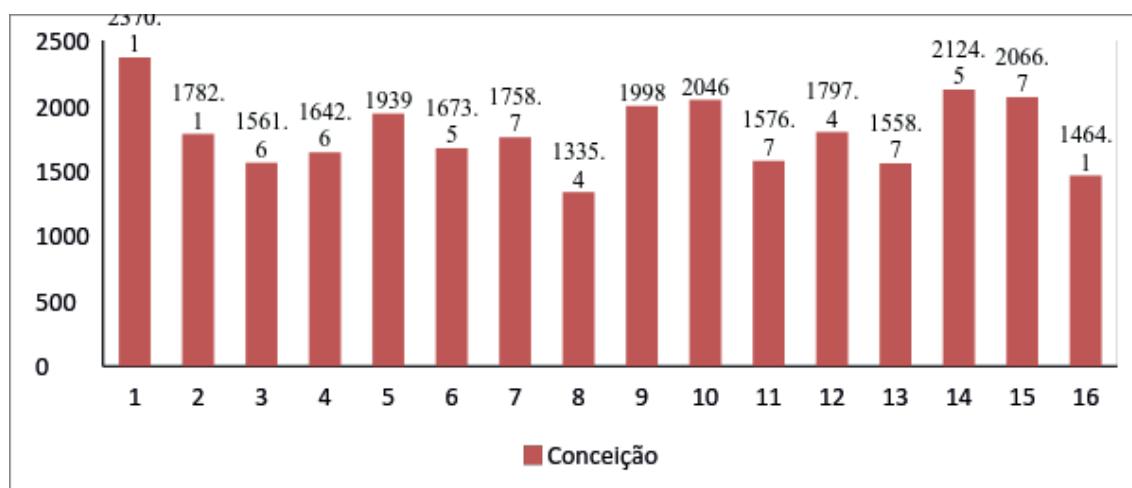


Figura 8 - Representação da precipitação pluviométrica de Conceição do Araguaia entre 2000 e 2015.

Com base nos 16 anos analisados pode-se perceber que a média de pluviosidade do município de Tracuateua, localizado na mesorregião Nordeste Paraense, foi de 2338,16 mm, estando na faixa média de precipitação dita por Moraes et al. (2005), que varia entre 2300 a 2800 mm.

Mesmo com essa média, na faixa de anos observados teve-se anos bem abaixo, como no caso dos anos de 2012 e 2013, com 1552,6 mm e 1612,1 mm respectivamente. Assim como teve um ano atípico, com uma quantidade de chuva superior a 3000 mm, que foi em 2009 (Figura 9).

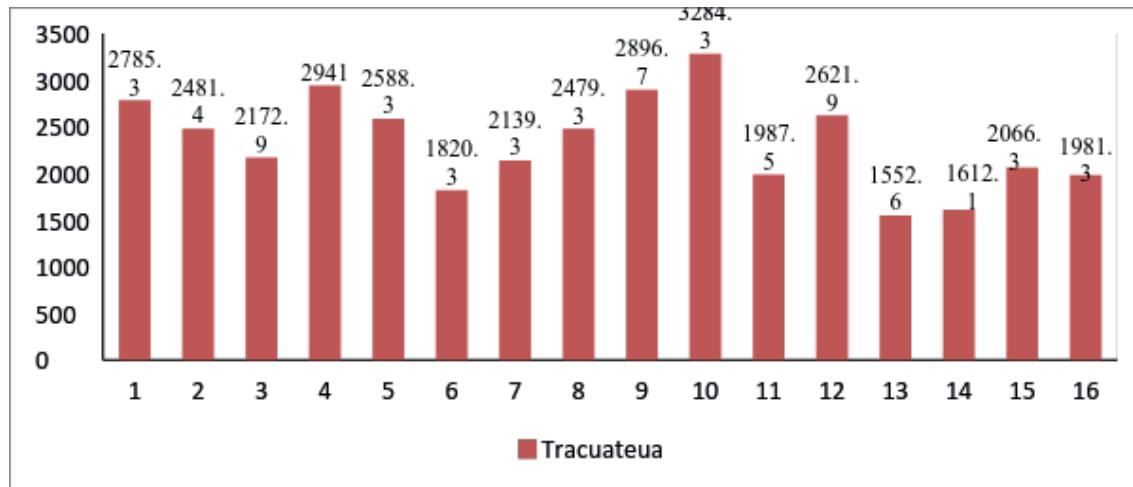


Figura 9 - Representação da precipitação pluviométrica de Tracuateua entre 2000 e 2015.

O município de Monte Alegre, localizada a mesorregião do Baixo Amazonas e divide com Marabá e Conceição do Araguaia, como as cidades com os menores índices pluviométricos. (Tabela 1).

A média de chuva do município foi de 1860,94 mm, mas percebeu-se que 58,33% dos anos ficaram abaixo dos 1670 mm de chuva (Figura 10), tendo como precipitação mínima de chuva em 2013 com 1472,2 mm e a máxima com 2384,1 mm em 2011.

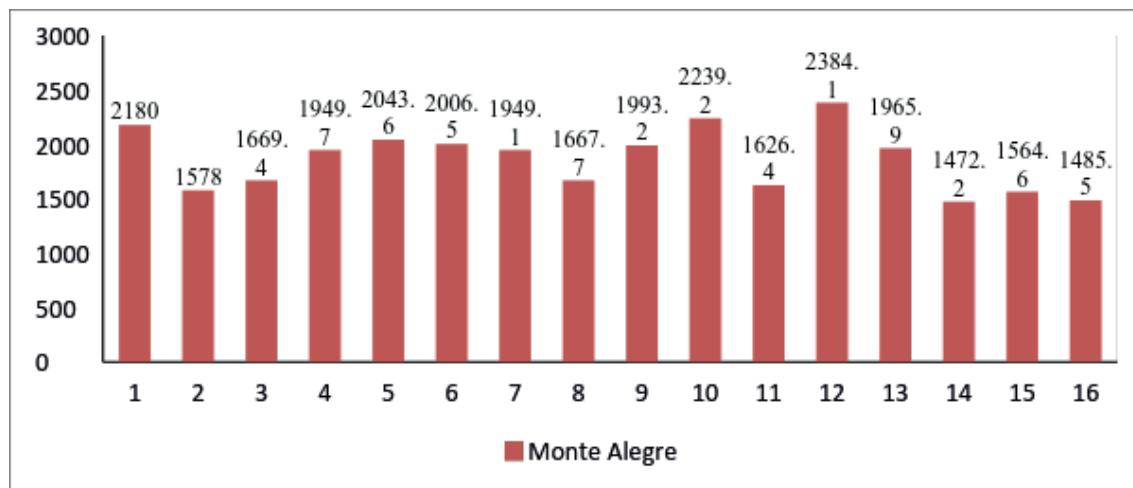


Figura 10 - Representação da precipitação pluviométrica de Monte Alegre entre 2000 e 2015.

O município de Itaituba, situado na mesorregião Sudoeste Paraense, apresenta classificação climática Equatorial Am (PEEL et al., 2007). No decorrer do período avaliado, foi possível perceber que no ano de 2015, ocorreu a menor pluviosidade com 1366,7 mm e notou-se também que em 2011 ocorreu a maior precipitação com 2718,9 mm (Figura 11).

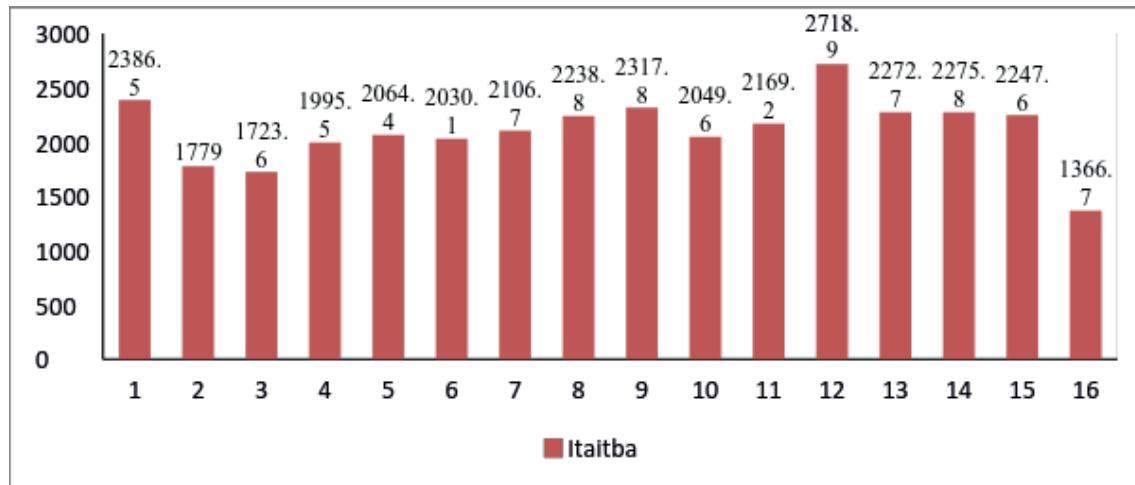


Figura 11 - Representação da precipitação pluviométrica de Itaituba entre 2000 e 2015.

A média de chuvas da cidade durante os 16 anos foi de 2108,93 mm e uma variação inferior a 15% que mostra uma baixa variação da pluviosidade no município.

No município de Belterra, situada na mesorregião do Baixo Amazonas, houve um índice pluviométrico médio de 1990,91 mm e um coeficiente de variação de 16,66% (Tabela 1). Essa variação pode ter ocorrido devido a presença de um ano com uma baixa pluviosidade, que foi 2015, onde choveu apenas 1301,5 mm (Figura 12).

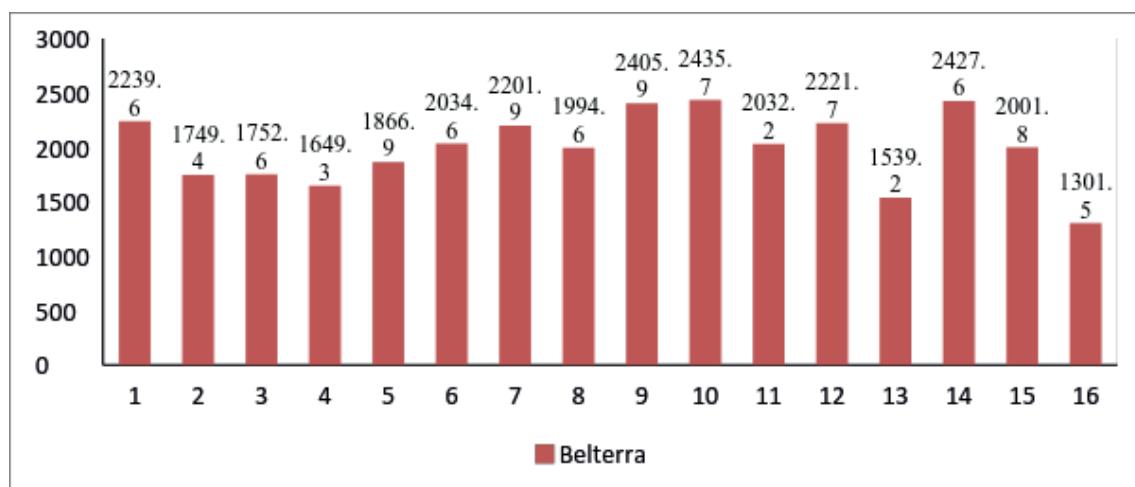


Figura 12 - Representação da precipitação pluviométrica de Belterra entre 2000 e 2015.

4 | CONCLUSÃO

Entre as cidades analisadas, Belém obteve maior média de precipitação. Enquanto a menor ocorreu no município de Conceição do Araguaia.

A cidade de Belém também apresentou uma maior uniformidade chuvosa ao longo dos 16 anos avaliados, quando comparada com as demais cidades.

Tracuateua foi a cidade que apresentou maior coeficiente de variação, enquanto que Belém a menor.

No ano de 2015 os municípios de Altamira, Cametá, Itaituba e Belterra tiveram as

suas menores pluviosidades.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, M. F.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, M. C. F.; JUNIOR, J. A. S. **Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008)**. Revista Brasileira de Climatologia. vol. 6. 17 de jun. 2010.
- BASTOS, T. X.; PACHECO, N. A. **Frequências de chuva em microrregião no estado do Pará**. 1º edição. Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PÁ, Dez. 2005.
- BITTENCOURT, V. J. C.; SOUSA, A. J. S.; CARVALHO, S. P. **Tabela das precipitações mensais no estado do Pará. Governo do estado do Pará, secretaria de estado de meio ambiente, diretoria de recursos hídricos**. Belém- PA, 2013.
- BURIOL, G. A.; ESTEFANEL, V.; CHAGAS, A. C.; EBERHARD, T. D. **Clima e vegetação natural do Estado do Rio Grande do Sul segundo o diagrama climático de Walter e Lieth**. Ciência Florestal, v. 17,n. 2, p. 91-100, 2007.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)**. Disponível em: www.inpe.br. Acesso em: 10. ago. 2017.
- KIST, A.; FILHO, J. S. V. **Análise probabilística da distribuição de dados diários de chuva no estado do Paraná**. Revista Ambiente e Água, vol. 10, n. 1 Taubaté-SP, Jan./Mar. 2015
- MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. H. **Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará**. Acta Amazonica, VOL. 35(2) 2005: 207 – 214.
- PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 11, 1633-1644, <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>, 2007.
- SOUZA, W. M., AZEVEDO, P. V. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas Derivados da Precipitação Pluviométrica e das Temperaturas em Recife-PE. Revista Brasileira de Geografia Física. Pernambuco, v. n. 5. p. 144, jan., 2012.
- SOUZA, L. P.G.; SILVA, M. C.; BEZERRA, A. L. C. S. **Total Pluviométrico do município, de Ipanguaçu-RN entre os anos de 1993 e 2013**. Revista CERES .Vol. 01, n. 2, Assú-RN, 2015.
- SOUZA, R. O. R. M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M.; NETO, J. A. P.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. R. **Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.16, n.9, p.999–1005, Campina Grande-PB, 2012.

NECESSIDADES HÍDRICAS E ÍNDICES DE CRESCIMENTO DA CULTURA DO GERGELIM (*Sesamum indicum L.*) BRS ANAHÍ IRRIGADO

Isaac Alves da Silva Freitas

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mestre em Manejo de Solo e Água. Mossoró – Rio Grande do Norte.

José Espínola Sobrinho

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Professor titular do Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Anna Kézia Soares de Oliveira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mestranda Fitotecnia. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Ana Beatriz Alves de Araújo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Roberto Vieira Pordeus

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Professor associado III do Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais Mossoró – Rio Grande do Norte.

Poliana Maria da Costa Bandeira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Graduanda do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Priscila Pascali da Costa Bandeira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Graduanda do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Tecla Ticiane Félix da Silva

Universidade Federal Rural de Pernambuco. Mestranda em Engenharia Agrícola. Recife – Pernambuco.

Fernanda Jéssika Carvalho Dantas

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mestra em Fitotecnia. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Alcimar Galdino de Lira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mestrando em Fitotecnia. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Alricélia Gomes de Lima

Universidade Federal do Ceará, Mestranda Fitotecnia. Fortaleza – Ceará.

Kadidja Meyre Bessa Simão

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Graduanda do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Anna Kézia Soares de Oliveira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mestranda Fitotecnia. Mossoró - Rio Grande do Norte.

Poliana Marias da Costa Bandeira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Graduanda do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Mossoró - Rio Grande do Norte.

RESUMO: As condições edáfoclimáticas do semiárido brasileiro são favoráveis a cultura do gergelim, uma vez que a mesma apresenta tolerância à estiagem. Este trabalho teve como objetivo a análise dos principais parâmetros de

crescimento e desenvolvimento do gergelim BRS Anahí, relacionando-os com suas necessidades hídricas. Nesta pesquisa foram analisados: Altura média das plantas (cm), diâmetro do caule (mm) e Área foliar (cm^2). A necessidade hídrica da cultura foi estimada a partir da evapotranspiração de referência (ETo) e evapotranspiração da cultura (ETc), o método utilizado foi o modelo Penman-Monteith/FAO. A cultura apresentou crescimento inicial lento, o qual assentou-se durante a segunda metade do ciclo. A ETo apresentou valores médios diários em torno de $7,8 \text{ mm dia}^{-1}$ Verificou-se uma razoável correlação estatística entre os parâmetros altura da planta, diâmetro do caule e a área foliar. A ETc apresentou valores baixos no início e no final do ciclo vegetativo indicando um pequeno consumo de água.

PALAVRAS-CHAVE: parâmetros, evapotranspiração, ciclo vegetativo.

WATER NEEDS AND GROWTH INDICES OF GERGELIM CULTURE (*Sesamum indicum L.*) BRS ANAHÍ IRRIGATED.

ABSTRACT: The conditions of the brazilian semiarid are favorable to the sesame crop, since it shows tolerance to striation. This work had an analysis of the main growth and development indicators of the BRS Anahí program, relating them to their water needs. In this research were analyzed: Plant mean (cm), stem diameter (mm) and Leaf area (cm^2). The crop water culture was taken from reference evapotranspiration (ETo) and crop evapotranspiration (ETc), the method used for the Penman-Monteith / FAO model. The culture, the initial growth, which settled during a second half of the cycle. The ETo is a person with average values Return of 7.8 mm dia^{-1} There was a distance between the parameters plant height, stem diameter and leaf area. The values return no beginnings and, in the end, do not run out.

KEYWORDS: Parameters, Evapotranspiration, Vegetative Cycle.

1 | INTRODUÇÃO

As condições edáfoclimáticas do semiárido brasileiro são favoráveis à cultura do gergelim, uma vez que a mesma apresenta tolerância à estiagem; constitui-se em alternativa de grande importância econômica e social para as condições semiáridas do Nordeste brasileiro, por ser de fácil cultivo e por gerar renda e trabalho, além de ser fonte de alimento para pequenos e médios produtores.

Considerando-se esses aspectos, é indispensável um ajuste tecnológico no processo produtivo do gergelim, para que o produtor nordestino possa usufruir dos benefícios potenciais dessa cultura. Para a obtenção de maiores rendimentos e maior eficiência no uso de água é necessário se conhecer as necessidades hídricas da cultura de modo que se possa oferecer às plantas, a quantidade de água adequada para os seus processos metabólicos e fisiológicos (AZEVEDO et al., 2003).

A análise de crescimento de plantas consiste num método que descreve as condições morfofisiológicas das mesmas em cada intervalo de tempo dentro de seu ciclo. Conhecer as características de crescimento e da fenologia de uma planta

cultivada é importante para a realização de ações como planejamento de tratos culturais, e avaliação de desempenho, como também para a tomada de decisões (MARUR e RUANO, 2001).

O presente trabalho objetivou a análise dos principais parâmetros de crescimento e desenvolvimento do gergelim BRS Anahí, relacionando-os com suas necessidades hídricas.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Descrição da espécie

O gergelim (*Sesamum indicum* L.) é de uma dicotiledônea, da família Pedaliácea, é uma das plantas oleaginosas mais antigas e usadas pela humanidade. O gergelim compõe-se de um caule que possui altura variável entre 0,5 a 3m, podendo ser ereto, com e sem ramificações com ou sem pelos, expressando nível de heterofilia. O caule do gergelim, geralmente a 15 cm da superfície do solo possui diferentes formatos, quadrangular e arredondado, ao qual crescem as folhas apresentam razoável nível de heterofilia, as que ficam na parte inferior são maiores, largas e mais arredondadas, e as da parte superior são mais estreitas e compridas, para permitir a penetração dos raios solares em todas as folhas, já as intermediárias não fazerem sombra sobre as inferiores (ANDRADE, 2009).

Em ambas as faces e revestida por espessa cutícula com pelos. Apresentando sistema radicular pivotante, com a presença de uma raiz principal, sistema axonomorfo, cujas ramificações são pouco desenvolvidas, penetrando no solo de modo perpendicular. O gergelim possui duas flores por axila foliar, são completas, gamopétalas, zigomorfas e aparecem em cachos, alternadas ou opostas. Cada flor possui um pedúnculo curto, nas axilas (YERMANOS, 1980).

Os frutos do gergelim são cápsulas pilosas, seu tamanho varia de 2 a 8 cm de comprimento e diâmetro de 0,5 a 2 cm, localizam-se nas axilas das folhas, sendo que em cada axila foliar pode haver de um a três frutos (característica varietal), e o número de frutos por planta está diretamente relacionado com o número de flores. A deiscência do fruto tem início no ápice, em direção à base. As sementes são pequenas, sendo que 1.000 sementes pesam de 2 a 4 g, havendo mais de 20 por lóculo do fruto. São ovaladas, ligeiramente achatadas e de coloração que varia de branco a preto, passando por marrom, verde-oliva e amarelo. Há diferenças entre as cultivares, quanto ao número de sementes por fruto e ao tamanho das sementes, sendo que seu principal constituinte é o óleo que, dependendo da cultivar e da localidade, pode ultrapassar 60% do peso da semente (BELTRÃO, 2001).

2.2 Análise de crescimento

A análise de crescimento produz conhecimentos de valor prático e informações

exatas (CARDOSO et al., 1987), referentes ao crescimento e comportamento dos genótipos, que podem ser utilizadas para benefício dos produtores, de modo que, os permitam escolher a cultivar que melhor se adapte a cada região.

A análise de crescimento é um método que segue a dinâmica da produção fotossintética, sendo de vital importância para compreender os processos morfofisiológicos da planta e sua influência sobre o rendimento. Pode, ainda, ser empregada para determinação da produção líquida das plantas, derivada do processo fotossintético, como resultado do desempenho do sistema assimilatório durante determinado período de tempo (CARDOSO et al., 1987); permite, também analisar os processos fisiológicos de crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os principais indicadores da capacidade e eficiência do rendimento das plantas são: Altura da Planta, Diâmetro Caulinar, Número de Folhas, Área Foliar (AF), Índice de Área Foliar (IAF); Taxa de Crescimento do Cultivo (TCC); Taxa de Crescimento Relativo (TCR); Taxa de Assimilação Líquida (TAL) (BENINCASA, 2003), dentre outros.

2.3 Necessidades hídricas

Dentre os diversos usos dos recursos hídricos, a irrigação destaca-se pela importância socioeconômica em regiões agrícolas áridas e semiáridas, onde é praticada para suplementar a precipitação natural no atendimento das necessidades hídricas das culturas (FARIAS et al., 2000). Para Bernardo (2005), também é necessário conhecer o comportamento da cultura em função das diferentes quantidades de água fornecida e identificar as fases de desenvolvimento de maior consumo de água, e os períodos críticos, quando a falta ou o excesso provocaria quedas de produção. Mas muito embora o gergelim seja uma planta tolerante à seca, suas maiores produtividades serão observadas quando conduzidas em condições hídricas favoráveis (SOUZA et al., 2000).

De acordo com Beltrão et al. (2001) existem poucas informações sobre o requerimento de água pelo gergelim, principalmente, porque é raro ser cultivado em escala comercial sobre regime de irrigação. A deficiência de informações não se limita apenas ao total de água requerido, mas também ao seu consumo nas diversas fases fisiológicas.

2.4 Evapotranspiração (ET) e Evapotranspiração de Referência (ETo)

O termo evapotranspiração de referência (ETo), utilizando os conceitos propostos por Thornthwaite aplicando-os à cultura da alfafa (*Mendicago sativa* L.), com altura de 0,3 a 0,5 m, numa dada condição climática, com área tampão de 100 m aproximadamente. Entre as razões apresentadas para a escolha da alfafa como planta de referência, argumentou-se que o seu porte seria mais representativo das condições aerodinâmicas de outras culturas do que a grama com o seu porte rasteiro. Contudo, Doorenbos e Pruitt (1977) apresentaram uma definição para evapotranspiração de referência, como aquela que ocorre em uma extensa superfície gramada, com

altura de 0,08 a 0,15 m, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo e sem restrições hídricas. Em essência, pode-se verificar que a definição de evapotranspiração de referência coincide com a evapotranspiração potencial (ETP).

O coeficiente de cultura (Kc) é uma relação empírica entre a evapotranspiração de uma cultura (ETc), sob condições de não estresse hídrico, e a evapotranspiração de referência (ETo). Este coeficiente relata o desenvolvimento fenológico e fisiológico de uma cultura particular em relação à evapotranspiração de referência e também representa o uso de água de uma cultura específica, que é de importância relevante para a estimativa do seu requerimento hídrico, necessário para tanto o dimensionamento do sistema de irrigação quanto para a operacionalização de perímetros irrigados (CLARK et al. 1996; MOHAN e ARUMUGAM, 1994).

Entre os pesquisadores em diversos países do mundo, o método de Penman-Monteith para a obtenção da ETo, descrito por Allen et al. (1998), vem sendo aceito como o método padrão para o cálculo da Evapotranspiração de Referência.

Através do método de Penman-Monteith é possível realizar o cálculo tanto da evapotranspiração horária e posteriormente chegar à evapotranspiração diária através da soma dos valores horários, quanto calcular a evapotranspiração diária através dos dados médios diários.

3 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na estação experimental pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte EMPARN, no município de Apodi, RN, cujas coordenadas geográficas são: latitude 5° 37' 37" S, longitude de 37° 49' 54" W e altitude de 138m, cujo clima predominante é quente do tipo BSW'h' segundo a classificação de Koppen .

A cultura utilizada no experimento foi o gergelim BRS Anahí, plantado no dia 6 de agosto de 2015 com um espaçamento de 0,8 m entre fileiras e 0,1 m entre plantas, o que corresponde a uma densidade de plantio linear de 10 plantas/m. foram realizadas irrigações por aspersão para atender a demanda hídrica da cultura, sendo as mesmas realizadas três vezes por semana, nos dias de segunda, quarta e sexta-feira.

A cada 15 dias foi realizada uma amostragem, de forma aleatória no campo marcando-se 20 plantas e a partir dessa amostragem, foram analisados alguns parâmetros de crescimento de forma não destrutiva. Em laboratório foram efetuadas algumas análises através de metodologias consideradas destrutivas. Os parâmetros analisados foram:

Altura média de plantas (cm) – Esta medida foi realizada considerando-se a distância entre a superfície do solo e extremidade superior da haste principal das plantas;

Diâmetro do caule (cm) - medido a 4 cm do solo, utilizando-se um paquímetro metálico digital com precisão de 0,1 mm;

Área foliar - Estimada através do método de Massa seca de discos foliares, mediante a relação da massa seca dos discos foliares (9 discos) e a massa seca total das folhas. Os discos foliares foram obtidos com o auxílio de um perfurador de área conhecida.

As necessidades hídricas da cultura foram estimadas a partir da evapotranspiração de referência (ET₀) que, por sua vez, foi calculada com base nos dados meteorológicos coletados na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET instalada na própria base de pesquisa da EMPARN. O método utilizado foi o modelo Penman-Monteith/FAO, definido pela equação:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900U_2}{T+273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)}$$

Em que: R_n é o saldo de radiação, G é o fluxo de calor no solo, ambos expressas em MJm⁻²dia⁻¹, γ é a constante psicrométrica, Δ é a declinação da curva de saturação do vapor da água (KPa °C⁻¹) e U₂ é a velocidade do vento (média diária) (m.s⁻¹) a 2m acima da superfície do solo; e_s: Pressão de saturação do vapor médio diário (kPa); e_a: Pressão atual de vapor médio diário (kPa); T: Temperatura média diária do ar a 2m de altura (°C).

Os coeficientes de cultura (K_c), usados em cada fase de desenvolvimento, foram obtidos por PEREIRA et al. (2014). A evapotranspiração da cultura (ET_c), em cada fase fenológica, foi obtida a partir dos dados de K_c e ET₀, segundo a razão:

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

Em que: ET₀ é a evapotranspiração de referência em mm. Dia⁻¹, obtida pelo método FAO Penman-Monteith; K_c coeficientes de cultivo em cada fase fenológica.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ciclo vegetativo do gergelim BRS Anahí foi dividido em quatro fases em função da ocorrência dos principais processos fisiológicos, conforme Tabela 1.

Fases de desenvolvimento		Dias emergência (DAE)	após emergência (DAE)	Duração (Dias)
Fase I	Emergência a 10% de cobertura de solo	1 – 20		20
Fase II	10% de cobertura de solo ao início da floração	21 – 44		24
Fase III	Início da floração ao início da maturação	45 – 68		24
Fase IV	Início ao final da maturação	69 – 82		14
TOTAL				82

Tabela 1 - Ciclo fenológico do gergelim, cultivar BRS Anahí nas diversas fases de desenvolvimento, no município de Apodi-RN, 2015.

Os dados dispostos na Tabela 1 tratam-se, de dados observados durante o período de condução do experimento e caracterizados mediante a observação de pontos característicos de cada uma das fases da cultura.

Observando-se a Figura 1 verifica-se que houve um crescimento lento no início do desenvolvimento vegetativo, seguido de um crescimento acentuado na fase intermediária, e uma tendência de estabilização na fase final. A equação que representa a relação entre a altura média das plantas e os dias após a emergência do gergelim, pode ser observada na Figura 1 mostrando um $y = -0,0006x^3 + 0,0841x^2 - 1,2021x + 6,4$ $R^2 = 0,9909$ e um $R = 0,99543$ o que indica uma boa correlação entre os parâmetros analisados. Percebe-se que entre 30 a 60 dias após a emergência a altura da planta aumenta de forma acentuada, e após esse período, o crescimento da cultura adotou um crescimento mais lento, em relação ao início do desenvolvimento, mantendo-se próximo de 125 cm. Grilo e Azevedo (2013) ao avaliarem a cultivar de gergelim BRS Seda em Ceará-Mirim-RN, observaram uma altura média máxima de 170,0 cm. Esta diferença pode ser causada por alterações decorrentes da própria arquitetura das duas variedades.

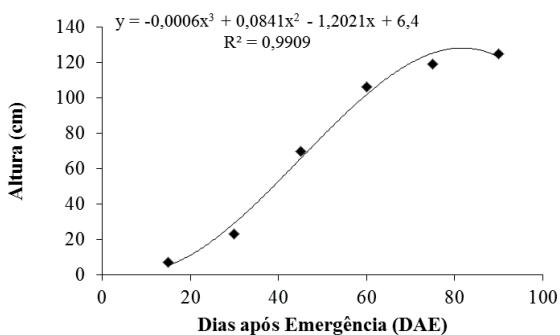


Figura 1. Altura média das plantas de gergelim, em Apodi (RN), 2015.

Os valores médios do diâmetro caulinar, em mm, são apresentados na Figura 2. O diâmetro caulinar médio foi de 9,69 mm. Observou-se que houve um aumento acentuado no diâmetro das plantas até 45° dia do ciclo da cultura. O coeficiente estatístico de determinação de $R^2 = 0,9983$ confirma uma excelente correlação entre esses dois parâmetros analisados.

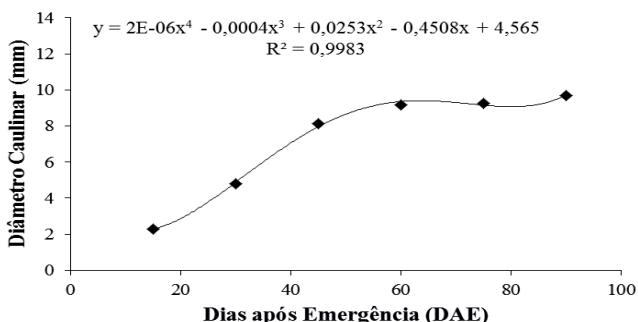


Figura 2 - Diâmetro caulinar médio (mm) do gergelim, em Apodi (RN), 2015.

A evolução da área foliar da cultura ao longo do seu ciclo vegetativo pode ser verificada na Figura 3. A curva que melhor se ajustou à área foliar (Af) em função dos dias após emergência (DAE) foi a de um polinômio do 4º grau. A cultura cresceu rapidamente entre o 35º dia após a emergência e o 75º dia e decresce após esse período. As folhas durante os dias supracitados, por serem grandes e largas, contribuem com maior peso para a área foliar já ao fim do ciclo, a heterofilia confere a planta folhas mais estreitas o que causa esse comportamento de decaimento da área foliar. O coeficiente de correlação chegou a 1, mostrando uma excelente relação entre os dois parâmetros estudados.

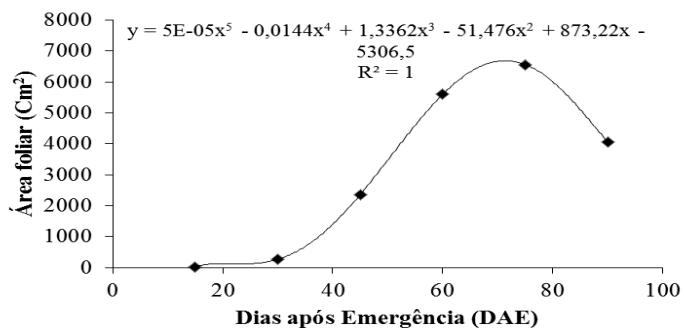


Figura 3 - Área foliar, por planta de gergelim, ao longo do ciclo fenológico, em Apodi (RN), 2015.

Na Figura 4, são exibidas as variações diárias da ETc, bem como os valores da ETo, estimada pelo método FAO Penman-Monteith. Observou-se um aumento contínuo da evapotranspiração da cultura do gergelim em relação à ETo durante todo o seu ciclo vegetativo. A ETo permaneceu mais ou menos constante ao longo do período experimental, com valor médio diário em torno de 7,8 mm.

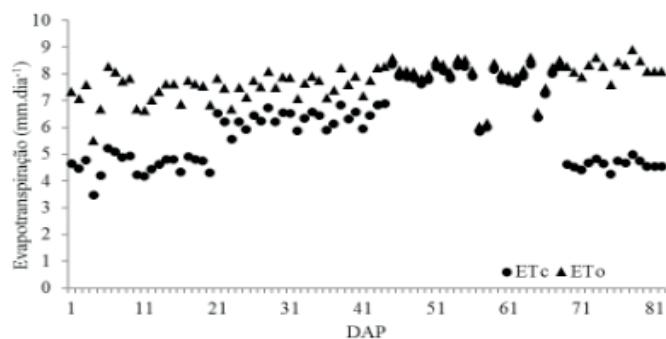


Figura 4 - Variação da evapotranspiração da cultura do gergelim (ETc) e da evapotranspiração de referência (ETo), em Apodi (RN), 2015.

O comportamento da evapotranspiração da cultura foi crescente, porém bastante variável ao longo do seu ciclo fenológico, com valor mínimo de 3,5 mm d⁻¹ e máximo de 8,4 mm d⁻¹. Os valores baixos da ETc no início e final do ciclo estão relacionados com o baixo índice de área foliar na fase inicial e da senescência da cultura na fase

final. Segundo Souza (2003), variações na taxa de evapotranspiração diária durante a mesma fase fenológica podem ser decorrentes das condições meteorológicas locais e da duração da referida fase. Assim o resultado encontrado por Souza em 2003, vem corroborar o comportamento da ETc encontrada no presente trabalho, tanto no que diz respeito a diferença entre a ETc nas diferentes fases fenológicas, quanto, o comportamento da ETc dentro da própria fase isoladamente, as quais tem valores aproximados entre os dias em cada uma.

Quando se analisam os valores médios diários da evapotranspiração da cultura, para cada fase do ciclo fenológico durante o período de observação, observa-se um valor mínimo de $4,6 \text{ mm d}^{-1}$ no início do desenvolvimento vegetativo (Fase I) e um máximo de $7,7 \text{ mm d}^{-1}$ na fase de floração e formação dos frutos (Fase III), apresentando um valor médio para todo o ciclo de $6,0 \text{ mm d}^{-1}$. Constatou-se ainda que, a evapotranspiração da cultura foi crescente da Fase I à Fase III, quando alcançou o máximo, voltando em seguida a decrescer. O consumo total de água do gergelim, durante todo o ciclo vegetativo, foi 494,0 mm.

5 | CONCLUSÕES

O Ciclo de desenvolvimento da BRS Anahí foi completado precocemente quando relacionado com a média da cultura que é de 90 dias.

Com relação ao crescimento e desenvolvimento da cultura, verificou-se uma razoável correlação estatística entre os parâmetros altura da planta, diâmetro do caule e a área foliar, permitindo que esses parâmetros possam ser estimados em função do número de dias após a emergência das plantas, nas condições regionais.

A necessidades hídrica da cultura foi representada pela evapotranspiração da mesma (ETc) que apresentou valores baixos no início e no final do ciclo vegetativo indicando um pequeno consumo de água.

As maiores exigências aconteceram na fase de floração e formação dos frutos, quando a ETc foi de $8,4 \text{ mm dia}^{-1}$.

Para o ciclo vegetativo da cultura o consumo de água foi de 494 mm de lâmina de irrigação.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, P. B. **Potenciais polinizadores e requerimentos de polinização do gergelim**. 2009. 74f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Ciências Agrárias, UFC, Fortaleza, 2009.

AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da; SILVA, V. D. E. P. R. **Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil**. Agricultural Water Management, v.58, p.241-254, 2003.

BELTRÃO, N. E. M.; SILVA, L. C.; QUEIROGA, V. P.; VIEIRA, D. J. **Preparo de solo, adubação e calagem**. In: BELTRÃO, N. E. M; VIEIRA, D. J. (Org.). **O agronegócio do gergelim no Brasil**. EMBRAPA, Brasília. Informação Tecnológica, 2001. p.109-131.

BLANC, E.; QUIRION, P.; STROBL, E. **The climatic determinants of cotton yields: evidence from a plot in West Africa.** Agricultural and Forest Meteorology, v.148, p.1093-1100, 2008.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas.** Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 e 42 p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 7 ed. atual. ampl. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.

CARDOSO, M. J.; FONTES, L. A. N.; LOPES, N. F.; et al. **Partição de assimilados e produção de matéria seca de milho em dois sistemas de associação com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Revista Ceres, Viçosa, v. 34, n. 191, p. 71-89, 1987.

CLARK, A. E. E; STANLEY, C. D. et al. **Water requirements and crop coefficients of drip-irrigated strawberry plants.** Transaction of ASAE, St. Joseph, v. 39, n. 3, p. 905-912, 1996.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidlines for predicting crop water requirements.** Rome, IT: FAO, 1977. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

FARIA, R. A. de; SOARES, A. A.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, C. A. A. S. **Demanda de irrigação suplementar para a cultura do milho no estado de Minas Gerais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.1, p.46-50, 2000.

MARUR, C. J.; RUANO, O. A. **A reference system for determination of developmental states of upland cotton.** Revista de Oleaginosas e Fibrosas, Campina Grande, v.5, n.2, p. 313-317, 2001.

PEREIRA, R. P.; BELTRÃO, N. E. M; ARRIEL, H. C. A.; SILVA, E. S. B. **Adubação orgânica do gergelim no Seridó Paraibano.** Revista de Oleaginosas e fibrosas. Revista de Oleaginosas e Fibrosas, v.6, n.3, p.599-608, 2002.

LIMA, V. I. **Crescimento e Produção de gergelim cv. G3 em função de zinco e boro. 2006.** 72p. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Universidade Federal da Paraíba. Areia, PB, 2006,72p.

MESQUITA, J. B. R. **Manejo da cultura do gergelim submetida a diferentes lâminas de irrigação, doses de nitrogênio e de potássio pelo método convencional e por fertirrigação. 2010.** 82f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

MOHAN, S.; ARUMUGAM, N. **Crop coefficient so major crops in south India.** Agricultural Water Management, Amsterdam, v. 26, p. 67-80, 1994.

SOUZA, C. B. de. **Necessidades hídricas, crescimento e desenvolvimento do abacaxizeiro nos tabuleiros de Santa Rita - PB.** Campina Grande: UFPB, 2003. 124 p. Tese de Doutorado.

SOUZA, J. G. de; BELTRÃO, N. E. M.; SANTOS, J. W. dos S. **Fisiologia e produtividades do gergelim em solo com deficiência hídrica.** Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 163-169, 2000.

YERMANOS, D. M. Sesame. In: FEHR, W.R.; HADLEY, H.H. **Hybridization of crop plants.** Madson, Wisc., ASA. P.549-563. 1980.

APLICAÇÃO DA ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS EM EMPRESAS DO SETOR AGROFLORESTAL

Robert Armando Espejo

Universidade Católica Dom Bosco - UCDB,
Campo Grande - MS.

Rildo Vieira de Araújo

Universidade Católica Dom Bosco - UCDB,
Campo Grande - MS.

Michel Constantino

Universidade Católica Dom Bosco - UCDB,
Campo Grande - MS.

Reginaldo Brito da Costa

Universidade Católica Dom Bosco - UCDB,
Campo Grande - MS.

Paula Martin de Moraes

Universidade Católica Dom Bosco - UCDB,
Campo Grande - MS.

Vanessa Aparecida de Moraes Weber

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul -
UEMS,
Universidade Católica Dom Bosco - UCDB,
Campo Grande - MS.

Fabricio de Lima Weber

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul -
UFMS,
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul -
UEMS,
Campo Grande - MS.

Fabiano Dotto

Universidade Católica Dom Bosco - UCDB,
Campo Grande - MS

RESUMO: O Brasil é um dos maiores exportadores de papel e celulose do mundo, sendo um setor com crescimento exponencial a partir da concentração de grandes plantas industriais. Neste contexto, o presente artigo teve por objetivo mensurar a eficiência relativa das empresas de Papel e Celulose que estão com atividades no Brasil inclusive as de capital aberto. A pesquisa utilizou dados abertos das empresas para o ano de 2016, sendo *input* para o modelo, a utilização de recursos humanos comparando com o *output* vendas líquidas. Foram analisadas 12 empresas com abordagem quantitativa da Análise Envoltória de Dados (DEA), foram aplicados os modelos de Charnes, Cooper e Rhodes (CCR) e Bunker, Charnes e Cooper (BCC) mais conhecidos na literatura. Os resultados destacaram a empresa FIBRIA-MS com maior eficiência nos dois modelos adotados.

PALAVRAS-CHAVE: Papel e Celulose, Análise Envoltória de Dados, Commodities.

APPLICATION OF DATA ENVELOPMENT ANALYSIS IN AGROFLORESTAL SECTOR COMPANIES

ABSTRACT: Brazil is one of the largest exporters of pulp and paper in the world, being a sector with exponential growth from the concentration of large industrial plants. In this

context, the purpose of this article was to measure the relative efficiency of Paper and Pulp companies that are active in Brazil including publicly traded. The research used open data of companies for the year 2016, being *input* to the model, the use of human resources compared to the net sales *output*. Twelve companies with a quantitative approach to Data Envelopment Analysis (DEA) were analyzed, the Charnes, Cooper and Rhodes (CCR) and Banker, Charnes and Cooper (BCC) models best known in the literature were applied. The results highlighted the FIBRIA-MS company with greater efficiency in the two models adopted.

KEYWORDS: Pulp and Paper, Data Envelopment Analysis, Commodities.

1 | INTRODUÇÃO

O surgimento do papel vem do latim *papyrus*, nome utilizado no Egito, mediante a utilização de uma planta da própria região (Hayasaka e Nishida, 2018). Os egípcios inventaram o papiro, que antes se extraia fibras para a fabricação de cordas e barcos, mas foi na China que o papel tomou forma e a partir de então tem sido muito utilizado por todos os povos. O papel foi extremamente útil para se expressar a escrita e com o passar do tempo o seu formato foi aperfeiçoado por diversos povos até chegar aos dias atuais.

As indústrias se desenvolveram e há algum tempo o segmento do papel passou a ser chamado de Papel e Celulose, envolvendo uma cadeia de produtos extraídos em sua maioria por florestas cultivadas em cada território. Esse ramo se desenvolveu em vários países, tornando-se muito competitivo pelo seu potencial de demanda existente no mercado. No Brasil, a cada ano tem tido investimentos e percebe-se um aumento na sua produção, tornando um setor bastante competitivo. Segundo Castro (2014, p.2): “O Brasil apresenta vantagem competitiva no crescimento de florestas, por causa do clima, do solo e da quantidade de luz solar e também graças ao desenvolvimento de biotecnologia florestal”.

Segundo a Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (2018), o setor é composto por 220 empresas com atividade desenvolvida em 540 municípios, localizados em 18 Estados do Brasil, reforçando a importância do setor.

A cadeia produtiva de celulose e papel é exemplo para a economia brasileira. Conforme Abreu et al. (2015), as empresas dessa área precisam trabalhar propendendo o aperfeiçoamento das técnicas e cultura de gestão, tendo consciência que os aspectos organizacionais devem ser inseridos em busca do sucesso no mercado atual. Assim, o uso dos novos enfoques gerenciais da qualidade tem se revolvido uma obrigatoriedade para as empresas inseridas nesse setor, com o desígnio de se empreitar uma certificação e uma estandardização, buscando a competitividade.

Objetivou-se mensurar a eficiência relativa das empresas de Papel e Celulose que estão com atividades no Brasil inclusive as de capital aberto.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

A técnica utilizada para mensuração da eficiência foi a Análise Envoltória de Dados (DEA), que trabalha com programação matemática não paramétrica. Charnes (1994) e Lins e Meza (2000) descreve que a história da Análise Envoltória de Dados (DEA) teve início com a tese de Rhodes orientando de Cooper, publicada em 1978. O objetivo da tese foi desenvolver um método para comparar a eficiência de escolas públicas norte-americanas (*Decision Making Units* - DMUs), com informações baseadas em um artigo de 1957 de um autor chamado Farrel.

O DEA trabalha com Entradas (*INPUTS*) que são os recursos ou insumos consumidos pelas DMUs para obterem os resultados desejados, e atendem o critério de quanto menor, melhor (Minimizar); e Saídas (*OUTPUTS*) que são os produtos ou serviços obtidos por cada uma das DMUs, que atendem ao critério de quanto maior, melhor (Maximizar). Essa técnica não paramétrica trabalha com modelos matemáticos, e um dos modelos utilizados é denominado de CCR: O modelo CCR recebeu esse nome em homenagem aos seus autores, porém ele também é conhecido como modelo de retornos constantes a escala (*Constant Returns to Scale* - CRS); tal modelo é linearizado, tornando-se um problema de programação linear, utilizando a fórmula proposta por Gomes et al., (2003), como segue:

$$\begin{aligned} \max \quad h_o &= \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jo}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{io}} \\ \text{sujeito a} \quad & \frac{\sum_{j=1}^s u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^r v_i x_{ik}} \leq 1, \quad k = 1, \dots, n \\ & u_j, v_i \geq 0 \quad \forall i, j \end{aligned}$$

Em sua formulação matemática, analisa-se que cada DMU k , $k = 1, \dots, n$, é uma unidade de produção que utiliza r *INPUTS* x_{ik} , $i = 1, \dots, r$, para produzir s *OUTPUTS* y_{jk} , $j = 1, \dots, s$. O modelo CCR, mencionado, maximiza o quociente entre a combinação linear dos *OUTPUTS* e a combinação linear dos *INPUTS*, com a restrição de que, para qualquer DMU, esse quociente não pode ser maior que 1. Assim, para uma DMU o , h_o é a eficiência; x_{io} e y_{jo} são os *INPUTS* e *OUTPUTS* da DMU o ; v_i e u_j são os pesos calculados pelo modelo para *INPUTS* e *OUTPUTS*, respectivamente.

O modelo BCC foi desenvolvido em 1984 por Banker, Charnes e Cooper e incorporava ao modelo CCR os conceitos de economia de escala. Dessa maneira, o modelo BCC pode ser intitulado como o modelo de retornos variáveis a escala (*Variant Returns to Scale*-VRS). A formulação do problema de programação fracionária, previamente linearizado, para esse modelo (Banker et al., 1984), onde h_o é a eficiência

da DMU_o em análise; x_{ik} representa o *INPUT* i da DMU_k , y_{jk} representa o *OUTPUT* j da DMU_k ; v_i é o peso atribuído ao *INPUT* i , u_j é o peso atribuído ao *OUTPUT* j ; u^* é um fator de escala, conforme proposto por Gomes et al. (2003), conforme segue:

$$\begin{aligned} \max \quad & h_o = \sum_{j=1}^m u_j y_{jo} + u^* \\ \text{sujeito a} \quad & \sum_{i=1}^n v_i x_{io} = 1 \\ & \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} \leq 0, \quad k = 1, \dots, s \\ & u_j, v_i \geq 0 \quad \forall x, y \\ & u^* \in \mathbb{R} \end{aligned}$$

A Figura 1 apresenta as fronteiras DEA BCC e CCR para um modelo DEA bidimensional (1 *INPUT* e 1 *OUTPUT*). As DMUs A, B e C são BCC eficientes; a DMU B é CCR eficiente. As DMUs D e E são ineficientes nos dois modelos. A eficiência CCR e BCC da DMU E é dada, concomitantemente, por $\frac{E'E''}{E'E}$ e $\frac{E'E}{E'E}$ (GOMES et al, 2003).

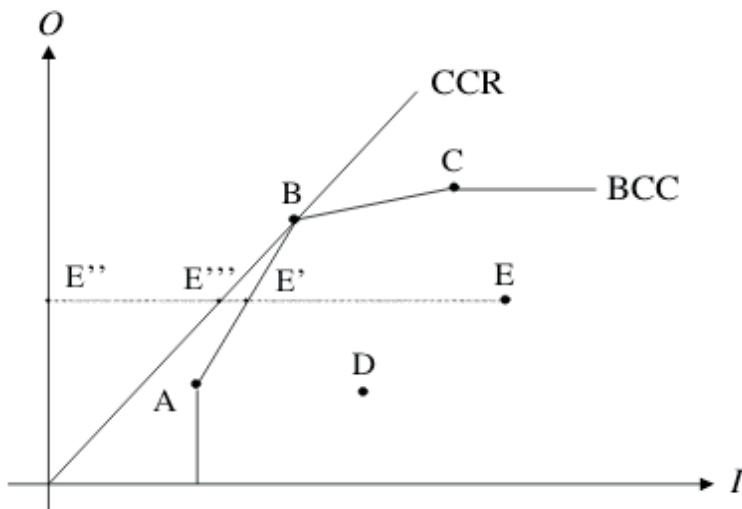


Figura 1 – Fronteiras DEA modelo BCC e CCR para o caso bidimensional. Fonte: GOMES et al. 2003.

O DEA como foi mencionado identifica as DMUs eficientes, mas também permitem medir e localizar a ineficiência e avaliar uma função de produção linear por partes, que fornece o *benchmark* para as DMUs ineficientes. Esse *benchmark* é apurado pela projeção das DMUs ineficientes na fronteira de eficiência. A forma como é feita esta projeção determina orientação do modelo: orientação a *INPUTS* (quando se deseja minimizar os *INPUTS*, mantendo os valores dos *OUTPUTS* constantes) e orientação a *OUTPUTS* (quando se deseja maximizar os resultados sem diminuir os recursos). (GOMES et al 2003).

Os dados utilizados foram obtidos da BM&FBOVESPA (2017) e empresas do setor, conforme Tabela 1, onde se buscou as seguintes variáveis: a) a quantidade de

funcionários (*INPUT*); b) o resultado das vendas líquidas (*OUTPUT*); e c) relação das empresas do ramo de Papel e Celulose. Foram identificadas 15 empresas, e destas foram utilizadas 12 empresas, pois 3 não constavam informação sobre o número de funcionários. Cada empresa participante do estudo é considerada uma DMU (*Decision making unit*):

Empresas 2016	Número de Empregados	Vendas (em R\$ milhões)	Empresas 2016	Número de Empregados	Vendas (em R\$ milhões)
Klabin-SP	13.833	7.160,20	Fibria-MS	1.212	1.777,80
Suzano-BA	7.747	9.331,50	Cenibra-MG	4.735	1.890,90
Mili-PR	1.897	934,40	Penha-SP	1.035	468,00
Eldorado-SP	4.851	2.698,90	Jandaia-SP	952	589,20
Berneck-PR	1.740	1.339,80	Celulose Irani-RS	2.472	786,40
Fibria-SP	4.493	5.144,20	Jari-PA	829	504,80

Tabela 1 – Empresas de Papel e Celulose. Fonte: BM&FBOVESPA e empresas do setor (2017).

Foram utilizados no estudo os modelos CCR orientado a *INPUT* e o *Modelo BCC* orientado a *OUTPUT*. Para o processamento dos dados utilizou-se o software R, com o pacote *benchmarking*.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices de eficiência para as 12 empresas no modelo CCR orientação *INPUT* analisadas na pesquisa são apresentados na Tabela 2. Constatase que a empresa Fibria-MS, que opera na escala de eficiência, sendo a DMU aquela que melhor utiliza os recursos disponíveis, atendendo suas necessidades no quesito de produção. O modelo admite que cada unidade de produção escolha, a partir de programação linear, os pesos para cada variável, de forma a maximizar a sua eficiência, desde que esses pesos aplicados a todas as DMU's não ultrapassem eficiência superior a 1(um) (PEREIRA, 2014).

DMUs	E	u1	v1
A - Klabin-SP	0.3528812	0.0000722909	4.92837e -05
B - Suzano-BA	0.8211786	0.0001290822	8.800071e -04
C - Mili-PR	0.3358035	0.0005271481	3.593787e -04
D - Eldorado-SP	0.3792934	0.0002061431	1.405363e -04
E - Berneck-PR	0.5249409	0.0005747126	3.918054e -04
F - Fibria-SP	0.7805507	0.0002225684	1.517341e -04
G - Fibria-MS	1.0000000	0.0008250825	5.62493e -04
H - Cenibra-MG	0.2722503	0.0002111932	1.439792e -04
I - Penha-SP	0.3082657	0.0009661836	6.586874e -04
J - Jandaia-SP	0.4219350	0.0010504202	7.16115e -04
K - Celulose Irani-RS	0.2168776	0.0004045307	2.757854e -04

Tabela 2 – Resultado das eficiências pelo Modelo CCR aplicado às Empresas de Papel e Celulose. Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Onde:

E = resultado relativo da eficiência

u1 = valor dos pesos virtuais dos *outputs*

v1 = valor dos pesos virtuais dos *inputs*

A Figura 2, como foi mencionada, destaca a empresa que apresentou melhor eficiência no uso de seus recursos, sendo demonstrada na linha da fronteira eficiente. Segundo Ferreira e Gomes (2009), ela define uma produção máxima que pode ser alcançada com dado recurso tecnológico. Desta forma, a DMU que está sobre ela é eficiente; as demais, que se distribuem abaixo dela, são ineficientes.

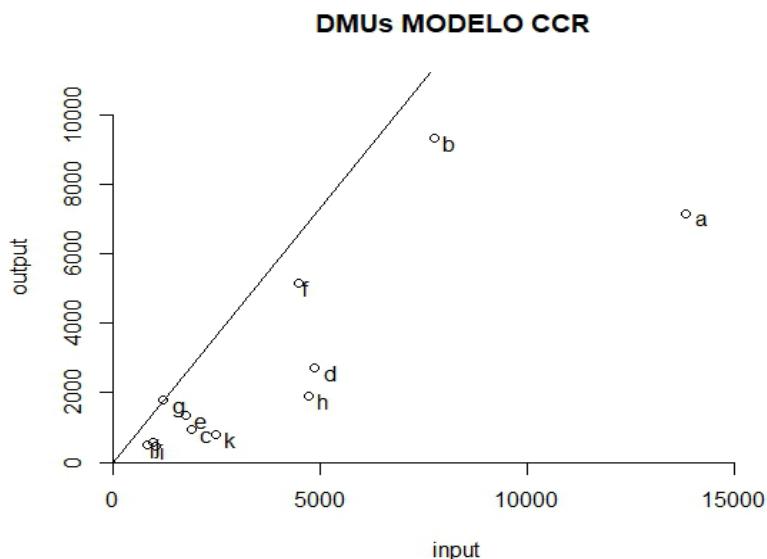


Figura 2 – Fronteira Eficiente Modelo CCR. Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

De acordo com a Figura 3 a seguir, nota-se uma melhor visualização da DMU com escala de eficiência igual a 1, na ótica do *INPUT*; as demais são consideradas ineficientes, não em relação ao resultado econômico, mas sim em relação ao melhor aproveitamento do recurso de mão de obra.

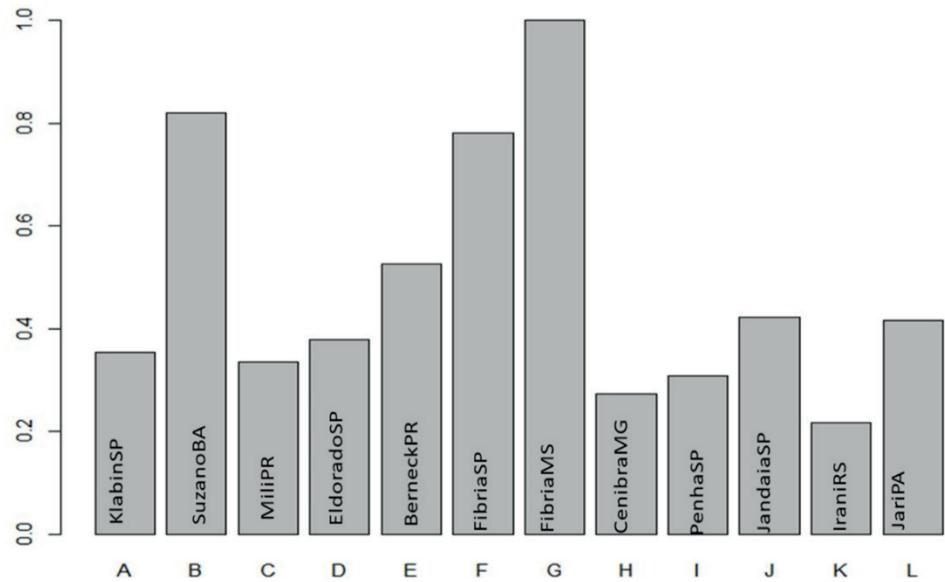


Figura 3 – Gráfico das DMUs modelo CCR. Fonte: Elaborado pelos autores, 2018

Entretanto, se a empresa tiver mais facilidades de controle sobre os recursos, optará por uma avaliação orientada para *INPUTS*; caso contrário, fará a opção por uma orientação a *OUTPUTS*. Esse modelo procura minimizar o consumo dos recursos de forma a produzir um determinado nível de produção.

Segundo a metodologia DEA, e usando o modelo BCC orientação *OUTPUT*, as eficiências BCC são maiores ou iguais que as eficiências CCR. Pode-se verificar na Tabela 3 que a empresa G (Fibria-MS) é eficiente no modelo CCR e também eficiente no modelo BCC, porém outras duas empresas: B (Suzano-BA) e L(Jari-PA) deixaram de ser ineficientes no modelo CCR, para se tornarem eficientes no modelo BCC pressupondo que as DMU's avaliadas apresentem retornos variáveis de escala (*Variant Returns to Scale-VRS*).

DMUS	E	u1	v1
A - Klabin-SP	0.4242409	0.0000722909	6.254167e -05
B - Suzano-BA	1.0000000	0.0001290822	1.116741e 04
C - Mili-PR	0.5051403	0.0005271481	1.585999e -04
D - Eldorado-SP	0.4141166	0.0002061431	1.783424e -04
E - Berneck-PR	0.6208170	0.0005747126	1.729104e -04
F - Fibria-SP	0.9179621	0.0002225684	1.925526e -04
G - Fibria-MS	1.0000000	0.0008250825	2.482377e -04
H - Cenibra-MG	0.2766309	0.0002111932	1.827115e -04
I - Penha-SP	0.8009662	0.0009661836	0.000000e+00
J - Jandaia-SP	0.8974716	0.0010504202	3.160337e -04
K - Celulose Irani-RS	0.3696292	0.0004045307	1.217088e -04
L - Jari-PA	1.0000000	0.0012062726	0.000000e+00

Tabela 3 – Resultado das eficiências pelo Modelo BCC aplicado às Empresas de Papel.e

A Figura 4 destaca as empresas que apresentaram melhor eficiência no uso de seus recursos no modelo BCC, sendo demonstrado na linha da fronteira eficiente. Segundo Ferreira e Gomes (2009), ela define uma produção máxima que pode ser alcançada com dado recurso tecnológico. Desta forma, a DMU que está sobre a linha da fronteira é eficiente; as demais, que se distribuem abaixo são ineficientes.

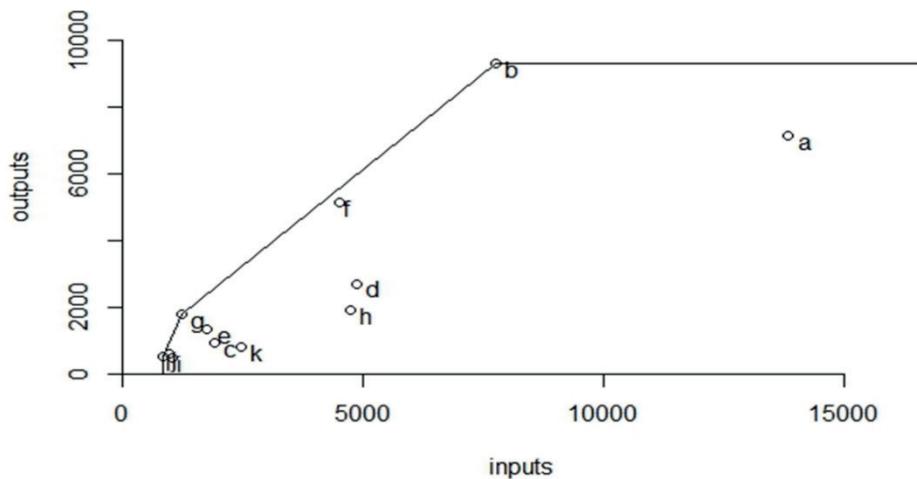


Figura 4 – Fronteira Eficiente modelo BCC. Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

De acordo com a Figura 5, nota-se uma melhor visualização das DMUs com escala de eficiência igual a 1, na ótica do *OUTPUT*; as demais seriam consideradas ineficientes de acordo com o método DEA.

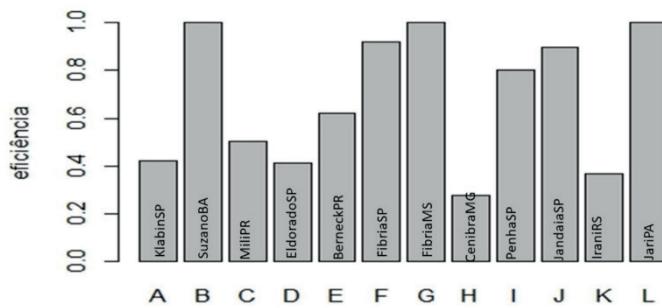


Figura 5 – Gráfico das DMUs modelo BCC. Fonte: Elaborado pelos autores, 2018.

Segunda Pereira (2014), constata-se que usando o modelo BCC, as empresas maximizam os *INPUTS* e *OUTPUTS*, pois um aumento ou diminuição nos *INPUTS* provocará um aumento ou diminuição maior do que o proporcional, o que poderá influenciar o seu nível de eficiência dentro do grupo em análise. Quando as rentabilidades são variáveis, as empresas que atuam com baixos valores de *INPUTS* podem ter retornos crescentes, mudando de ineficientes no modelo CCR, para eficientes no

modelo BCC, conforme os exemplos das DMUs das empresas Suzano-BA e Jari-PA, que pelo modelo CCR eram consideradas não eficientes pois não atingiam os 100%, e quando analisadas pelo modelo BCC, com os mesmos níveis de *INPUTS* e *OUTPUTS*, elas se tornam eficientes (Figura 5).

4 | CONCLUSÃO

O presente estudo insere-se aos fundamentais estudos sobre eficiência de empresas utilizando abordagem de fronteira. O campo empírico utilizado foram as grandes empresas do setor de Papel e Celulose, que apresentam importantes externalidades na economia e no meio ambiente, neste contexto, ser eficiente requer o melhor uso dos recursos para alcançar o máximo de produção possível. Os recursos utilizados nesta análise pelas empresas foram o número de funcionários e o valor das vendas.

Com a aplicação do método CCR, que considera apenas os retornos constantes de escala destacou a empresa Fibria (MS) como a de melhor eficiência comparada às demais do ramo de papel e celulose. Adicionalmente, ao aplicar o método BCC, as empresas Suzano (BA) e Jari (PA) foram consideradas eficientes. Isso está relacionado à forma de análise do método, que considera Retornos Variáveis de Escala, sejam eles crescentes ou decrescentes ou mesmo constantes.

O estudo realizado evidencia sua importância ao demonstrar o uso da aplicação do programa R apresentado e principalmente a utilização do método estatístico DEA como fonte de geração de informação para tomada de decisão, podendo atender as necessidades científicas e profissionais nas diversas áreas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, M. V.; PALMA, J. B. T.; PEIXOTO, M. G. M. **Gerenciamento da rotina no setor de papel e celulose:** Um estudo de caso em uma indústria situada no Mato Grosso do Sul. XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Fortaleza-CE, 13-16 de outubro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL (ABTCP). Disponível em: <<http://www.abtcp.org.br>> Acesso em 22/03/2018.
- BM&FBOVESPA. Dados financeiros das empresas. Disponível em: <<http://www.bmfbovespa.com.br>> Acesso em 21/03/2018.
- CASTRO, N. V. C. **Avaliação de Empresas do Setor de Papel e Celulose através do Modelo CFROI.** XIV Congresso USP de Controladoria e Contabilidade. Novas perspectivas na pesquisa contábil. São Paulo, 21-23 de julho de 2014.
- CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. **Measuring The Eciency Of Decision Making Units.** European Journal Of Operational Research, Piotrowo, V. 2, N. 3, P. 429- 444, 1978.
- FERREIRA, C. M. C.; GOMES, A. P. **Introdução à análise de envoltória de dados:** teoria, modelos e aplicações. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009.

GOMES, E. G.; MELLO, J. C. C. B. S.; ASSIS, A. S.; et al. **Uma medida de eficiência em segurança pública**. Niterói: Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção, v. 3, n. 7, p. 1-15, 2003. Disponível em: <www.producao.uff.br/conteudo/rpep/volume32003/relpesq_303_07.doc> Acesso em 21/03/2018.

HAYASAKA, E. Y.; NISHIDA, S. M. **Dados sobre a história do papel**. Disponível em: <http://www2.ibb.unesp.br/Museu_Escola/Ensino_Fundamental/Origami/Documentos/indice_origami_papel.htm> Acesso em 21/03/2018.

LINS, M. P. E.; MOREIRA, M. C. B. **Implementação com Seleção de Variáveis em Modelos de DEA**. In: LINS, Marcos Pereira Estellita; MEZA, Lídia Ângulo (org.). Análise Envoltória de Dados e Perspectivas de Integração no Ambiente de Apoio à Decisão. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2000. Cap. III, p.38 - 52.

PEREIRA, V. A. M. Dissertação de mestrado: **A contabilidade de gestão e a Data Envelopment Analysis**: Análise de desempenho organizacional. Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Lisboa-PT. ISCAL. 2014.

ECOPRODUÇÃO DE PAPEL A PARTIR DE RESÍDUOS TÊXTEIS: PROPOSTA E AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE SIMBIOSE INDUSTRIAL

Júlia Terra Miranda Machado

Università di Bologna, Universidad de Cádiz e Universidade do Algarve (WACOMA: Water and Coastal Management Erasmus Mundus Master Degree)

Rio de Janeiro – Rio de Janeiro.

Lilian Bechara Elabras Veiga

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro,
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro.

Maria Gabriela von Bochkor Podcameni

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – Rio de Janeiro

a matéria prima principal de ambas: fibras. Anualmente são geradas mais de 175 toneladas de resíduos têxteis (SEBRAE, 2015), enquanto 950 toneladas de celulose por dia tornam-se papel (MELO, 2016). Neste contexto, maneiras de mudar a consciência de consumo da moda e de mitigar os danos causados pelas indústrias de papel e celulose e têxtil através de instrumentos de Gestão Ambiental tornam-se necessárias. Dessa forma, a partir de levantamento histórico das indústrias e seus processos, aplicando o conceito de Ecologia Industrial em uma visão sistêmica da gestão ambiental, as autoras propõem um sistema de Simbiose Industrial que relacione as duas indústrias. Com a metodologia aplicada, percebe-se que o sistema parece corresponder às expectativas, podendo ser adotado como modelo teórico para a implementação do sistema de simbiose pelas indústrias e como fonte de inspiração para que estes setores desenvolvam pesquisas relacionadas à proposta, em busca de um desenvolvimento mais sustentável para ambas as cadeias produtivas.

PALAVRAS-CHAVE: Simbiose Industrial, Indústria Têxtil, Indústria de Papel e Celulose, Moda sustentável, Resíduos sólidos

RESUMO: O crescimento contínuo da população e da expectativa de vida mundial trouxeram graves consequências econômicas, sociais e ambientais (ONU, 2016) na busca por distinção, novidades e tendências. Especialmente após a Revolução Industrial a consequência é o aumento da exploração dos recursos naturais e da geração de resíduos e poluentes, excedendo os limites do Planeta. Entre as indústrias responsáveis por este processo encontram-se a indústria Têxtil e a Indústria de Celulose e Papel, que, além de sua relevância na economia e seu papel quanto geração de resíduos sólidos, relacionam-se em seus processos produtivos ao considerarmos

ABSTRACT: The continuous population and life expectancy growth around the world have brought serious economic, social and environmental consequences (UN, 2016) in the quest for distinction, novelties and trends. Especially after the Industrial Revolution, the outcome is an increase of natural resources exploitation and generation of residues and pollutants, exceeding the Planet limits. The Textile Industry and Pulp and Paper Industry, in addition to their relevance in the economy and their role in the generation of solid waste, are major contributors of this process and relate in their production processes when considering the main raw material for both: fibers. Each year more than 175 tons of textile waste are generated (SEBRAE, 2015), while 950 tons of pulp per day become paper (MELO, 2016). In this context, Environmental Management tools become necessary, intending to change consumer awareness about fashion and mitigate the damage caused by the pulp and paper and the textile industries. Thus, based on a historical survey of the industries and their production processes, applying the concept of Industrial Ecology in a systemic vision of environmental management, the authors propose an Industrial Symbiosis system that relates both industries. Based on the methodology developed, it was noticed that the system seems to correspond to the expectations and could be adopted as a theoretical model for the implementation of a symbiosis system by the industries considered and as a source of inspiration for those sectors to develop research on industrial symbiosis, aiming a sustainable development for both production chains.

KEYWORDS: Industrial Symbiosis, Textile Industry, Pulp and Paper Industry, Production Process, Industrial Ecology, Sustainable Fashion, Solid Waste.

1 | INTRODUÇÃO

Em todos os momentos da história da população moderna o papel vem desempenhando uma função de grande importância na Cultura artística, na Gastronomia, na Educação, na Economia, na Medicina, na Comunicação. Mas de onde vem este papel?

No século II, na China, o papel começa a ser produzido a partir de fibras de algodão, em processo de pequena escala, utilizando trapos de roupas, em substituição aos papiros egípcios e aos pergaminhos da Turco-otomanos. O aumento crescente da utilização do papel não correspondeu a este modo artesanal de produção e assim, no final do século XVIII os inventores Keller, Burgess e Tilghman, desenvolvem e tornam viável a ideia de usar a celulose vegetal de fibras extraídas da madeira para suprir a crescente demanda.

Após a Revolução Industrial, o modo de produção Capitalista resultou no aumento da exploração dos recursos naturais e no aumento da produção. Isto, atrelado a um novo padrão de consumo, forma um ciclo que envolve, nos aspectos

sociais e econômicos, a população mundial. O aumento nos padrões de produção e de consumo é indicador do aumento na geração de resíduos e, assim, os limites do planeta, seja para a extração de recursos naturais, seja para a disposição dos resíduos são ultrapassados e começa-se a gerar impactos irreversíveis ao meio ambiente.

A moda vem para completar este ciclo, com a capacidade de tornar comprador em potencial o indivíduo mais pobre, na busca de um produto sem utilidade aparente, tornando-a vilã do consumo e, consequentemente, da poluição causada pela produção e descarte inadequados.

Nesse sentido, a sociedade contemporânea caracteriza-se por um comportamento, apontado por MARX (1982) como possuidor de duas identidades: a identidade imediata, onde a produção é consumo e o consumo é produção e a identidade relacionada, onde a produção cria o material para o consumo como objeto exterior e, o consumo cria a necessidade como objeto interno.

A cultura do consumo associado à moda nasce no final do século XIX, com a Revolução Industrial e a Revolução Francesa (FONTENELLE, 2017), quando o conceito de moda já era utilizado para representar não só os gostos e opiniões, mas a diferenciação sexual e social. Atualmente “a indústria da moda é a segunda mais poluente do mundo, perdendo para a petrolífera. É a segunda em consumo e desperdício de água após a indústria alimentícia e a número um na obsolescência programada superando a indústria eletrônica” (CUNHA, 2016). Porém, cada vez mais há pessoas com consciência dos malefícios desse consumo, procurando analisar e repensar os impactos sociais e ambientais dessa cadeia de produção.

Com base no acima exposto, uma análise da indústria têxtil e da indústria de papel e celulose torna-se de grande relevância devido ao seu poder econômico e alto potencial poluidor. Essas indústrias se relacionam ao considerarmos a matéria prima dos setores: as fibras. O Brasil ocupa a 5^a posição no ranking mundial da indústria têxtil, é o 2º maior setor empregador da indústria de transformação brasileira, com faturamento da cadeia têxtil e de confecção de US\$ 37 bilhões (ABIT). Já a indústria de papel brasileira produziu, em 2016, 10335 mil toneladas de papel, com balança comercial de US\$ 1871 milhões em exportações, ocupando o 2º lugar no ranking mundial de produção de celulose total e 8º lugar no ranking mundial de produção de papel (DEPEC, 2017).

Diante deste quadro, este artigo tem como objetivo propor a utilização do instrumento da Ecologia Industrial, a Simbiose Industrial (SI), para a produção de papel, a partir da reciclagem de aparas de fibras de indústrias de produção têxtil e de resíduos têxteis domésticos, analisando a viabilidade econômica e ambiental deste processo. Esta temática surge a partir da técnica de produção de papel presenciada pela autora, em visita ao Moinho do Papel de Leiria, Portugal, em novembro de 2017, em visita durante a mobilidade acadêmica.

2 | RESÍDUOS E A LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

No século XX, a partir da publicação do livro “Primavera Silenciosa” de Rachel Carson, da publicação do estudo “Limites de Crescimento” pelo MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), da Conferência das Nações Unidas em Meio Ambiente e Desenvolvimento em Estocolmo, do documento Nossa Futuro Comum (Relatório *Brundtland*) que apresentou o conceito de Desenvolvimento Sustentável, da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, Rio Eco-92, o conceito de sustentabilidade passa a estar atrelado ao conceito de desenvolvimento. O emprego da expressão “desenvolvimento sustentável” aponta, dentre outras, para uma tomada de consciência dos limites dos recursos naturais, dos limites do Planeta, para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo da sociedade global atual (VEIGA, 1993).

No setor empresarial, a introdução da questão ambiental ocorre de forma gradativa. Segundo Donaire (1994) “a proteção ao meio ambiente deixa de ser uma exigência punida com multas e sanções e se inscreve em um quadro de ameaças e oportunidades, em que as consequências têm impacto sobre a sobrevivência da organização” (Donaire, 1994).

Com este novo olhar são desenvolvidos ferramentas e instrumentos de gestão ambiental voltados a melhorar o processo produtivo das empresas, envolvendo as etapas anteriores a produção, ou seja, a extração dos recursos naturais, até as posteriores à produção, como o uso e o descarte final adequado. Dentre estes, cabe mencionar prevenção da poluição (P2), a produção mais limpa (P+L), a ecoeficiência, a avaliação do ciclo de vida (ACV), a simbiose industrial (SI), dentre outros.

Legislações Ambientais, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305 de 2010, PNRS), as Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), entre outras foram sancionadas visando preservar os recursos naturais, prevenir e minimizar os impactos causados pela ação antrópica no meio ambiente. A PNRS apresenta como um de seus objetivos o reuso e a reciclagem de resíduos sólidos, dando incentivo à indústria da reciclagem, visando fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados.

Dentre os instrumentos de gestão ambiental supracitados, a Simbiose Industrial (SI) busca alcançar a produção sustentável, através do reuso e a reciclagem de resíduos sólidos, a partir da reinserção destes resíduos como insumos no processo produtivo.

3 | SIMBIOSE INDUSTRIAL: RELACIONANDO PROCESSOS

Instrumento da Ecologia Industrial, a Simbiose Industrial (SI) ocorre quando indústrias tradicionalmente separadas cooperam umas com as outras para a gestão eficiente dos fluxos de recursos (matéria, energia, água), resultando na melhoria do

desempenho ambiental global de ambas, de forma análoga a um ecossistema biológico (CHERTOW, 2000).

A SI considera o fluxo de materiais e energia entre economias locais e regionais, onde as empresas que operavam de forma isolada passam a operar de forma coletiva em busca de uma maior vantagem competitiva (CHERTOW, 2000). Para Chertow (2004) “A SI considera as indústrias organizadas a semelhança de um ecossistema, onde os organismos que antes não possuíam qualquer relação encontram benefícios coletivos a partir da sinergia, ou seja, da troca, de subprodutos, resíduos, água e energia. A SI busca promover uma possível articulação entre indústrias que operavam de forma isolada a operarem de forma coletiva, em que a cooperação e o intercâmbio físico de materiais, resíduos, água e energia entre as indústrias resulta em vantagens competitivas”. A SI resulta em benefícios dentre os quais a redução da poluição, da extração de recursos naturais a partir a inserção dos resíduos, que antes seriam descartados no meio ambiente, como insumo no processo produtivo, redução dos gastos com aquisição de matéria prima, melhora da imagem da indústria no mercado (ELABRAS-VEIGA e MAGRINI, 2012).

Segundo Elabras-Veiga e Magrini (2012) alguns fatores condicionam a adoção da SI, como a cooperação e integração entre indústrias, o *mix “ideal”* de indústrias, equilíbrio entre a oferta e demanda de resíduos, gestão do processo produtivo, relações institucionais e legislação em vigor.

3.1 As indústrias têxtil e papel-celulose

Os papéis e as roupas, quando resíduos, podem ser valorizados de diversas maneiras, como reuso direto, reuso indireto, reincorporação, reciclagem/transformação. Através destas técnicas consegue-se a redução no uso de recursos naturais/materia prima e redução de resíduos finais gerados nos processos industriais, exemplificados nas Figuras 1 e 2, e dispostos na natureza ou em aterros, além da minimização dos impactos gerados em todo seu Ciclo de Vida.

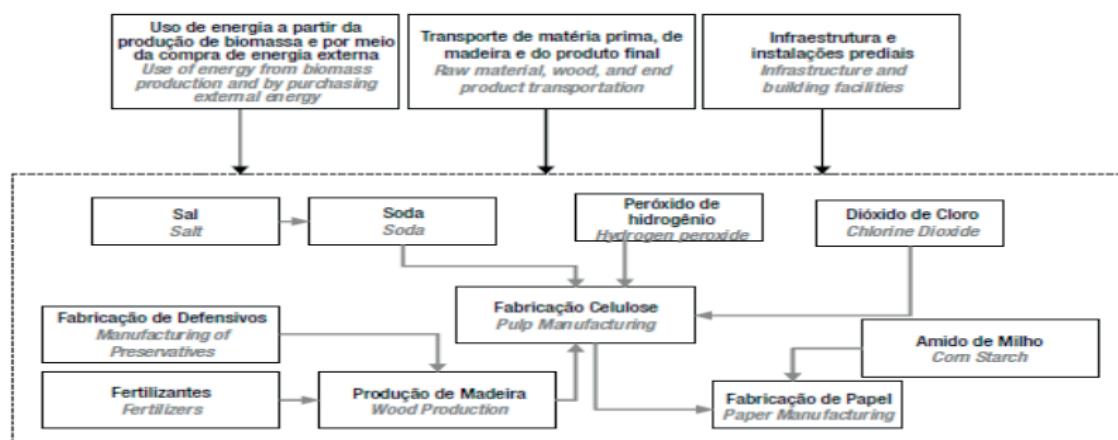


Figura 1 – Sistema de produto para papel virgem a base de eucalipto. Fonte: Barbieri (2009) Inspirado em Silva e Kulay (2006)

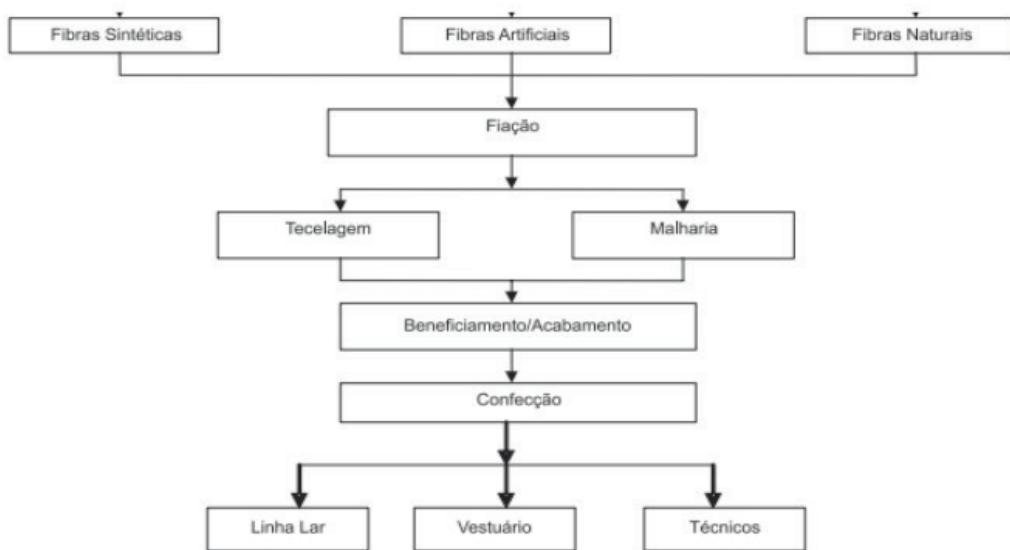


Figura 2 – Estrutura da Cadeia Produtiva Têxtil e de Confecções. Fonte: Adaptado de BNDES (2009).

3.2 Produção de papel por aparas têxteis

O processo aqui apresentado foi desenvolvido pela autora a partir de processos convencionais de produção de papel e de têxteis já referenciados, em casos já existentes de processos semelhantes encontrados em Portugal nas fábricas Papel d’Douro, em Alijó, e na Moinho, em Vouzela, e em inovações nas interações entre estas indústrias. Ajustando isto aos métodos de redução de impacto ambiental de processos produtivos, modifica-se não somente o processo, mas também logística utilizada externa e internamente por estas empresas.

Para a produção de papel, a partir de aparas de fibras de indústrias de produção têxtil e resíduos têxteis, é necessário um trabalho inicial que consiste nas seguintes etapas:

1) Recolhimento das aparas/ roupas ricas em algodão de acordo com a origem:

a) Descarte Doméstico:

i) As roupas descartadas por pessoas físicas deverão ser recebidas em pontos de coleta na proximidade da fábrica de produção de papel onde serão transformadas. Este recolhimento pode ser realizado via ONG’s, centros educacionais e/ou instituições religiosas – pontos onde a coleta de roupas usadas já é realizada, diminuindo assim o acréscimo de impactos ao processo com deslocamento e com os custos de armazenagem e separação dos itens que ainda podem ser reutilizados.

ii) Recolhimento via Logística Reversa das roupas usadas e descartadas da própria marca da fábrica que realiza a SI.

b) Descarte Industrial:

- i) Roupas consideradas defeituosas dentro do processo interno da fábrica e aparas/retalhos das diversas etapas do processo devem ser armazenadas em área própria da mesma
- ii) Criação de parcerias com centros produtores e comerciais com grande produção de resíduos de fibras ricas em algodão para recebimento deste material pela fábrica que realiza a SI

Nesta fase, como já mencionado, são considerados os impactos da logística de armazenamento e transporte de todas as possibilidades de coleta destes resíduos e consequentemente analisados para que a realização do novo processo seja feita com a menor perturbação ambiental possível.

Mas, por que as Indústrias e outros setores colaborariam com esta reciclagem? Além dos ganhos convencionais da SI pode-se citar:

- Obrigatoriedade legal quanto à destinação correta de resíduos pelas indústrias
- Intuito de empregar o menor custo possível para a destinação dos resíduos pelas indústrias
- Necessidade um ponto de escape para as suas doações recebidas em mal estado para uso para ONG's, instituições filantrópicas, educacionais ou religiosas
- Marketing positivo para as indústrias envolvidas
- Possibilidade de criação de empregos, como impacto positivo direto e indireto do sistema.

2) Separação do Material Recolhido

a) Separação por tipo de fibra.

- i) Baseado em estudos anteriores de outros autores já citados, foi predeterminado a utilização de materiais 100% algodão como mínimo de composição para a melhor eficácia do processo.
- ii) Quando o material vem direto da empresa, a separação deve ser realizada já durante os processos, passando a empresa a possuir duas opções de descarte: um local para descarte de têxteis gerais, restos de materiais sintéticos e outras fibras semelhantes, e outro local somente para as fibras de interesse do projeto de Simbiose.
- iii) Quando o material vem de parceiros, o material já está separado como o estipulado no acordo de parceria, onde consta o puro algodão somente.
- iv) Independente da origem, em seguida ao recebimento, é necessária uma triagem final de qualidade e nivelamento para haver garantia da aptidão do material recebido;

b) Separação por coloração.

- i) A segmentação por cor é extremamente importante para o acabamento do papel, já que o produto será vendido em diversas cores. Ao realizar esta separação, consequentemente, o impacto da fase de coloração do papel é extremamente reduzido.
- ii) Após as etapas de separação, para amenizar ainda mais os impactos da produção, é recomendado que as fibras consideradas inadequadas para a transformação em pasta de papel sejam utilizadas para produção energética dos sistemas através de caldeiras de biomassa, como já realizado em fábricas de papel de celulose de madeira.

3) Limpeza do Material Recolhido

Para que o material possa ser utilizado no processo papeleiro este deve estar limpo, para não afetar a qualidade da pasta a ser formada ou causar danos aos equipamentos utilizados no processo. Esta limpeza deve ser realizada respeitando as colorações das roupas já selecionadas e de acordo com o ciclo de produção.

As fases anteriores à limpeza são realizadas de maneira contínua, agindo como pré-preparo da produção, e as etapas a partir da limpeza devem ser realizadas de acordo com o fluxo de produção e sua demanda.

Recomenda-se que a limpeza seja realizada pela empresa beneficiadora de modo a garantir a adequação da limpeza específica para tal e a necessidade de menos etapas de limpeza no processo. Recomenda-se que haja um sistema de reaproveitamento de água e a utilização de produtos de limpeza pouco agressivos em prol de não danificar a fibra e limitar os danos ambientais gerados.

Após estas etapas iniciais há o encaminhamento de todos os materiais fibrosos de algodão selecionados para a Indústria de Papel e a partir de então os resíduos têxteis passam a matéria-prima do processo de produção de papel. O processo é realizado através das técnicas convencionais de produção de papel por métodos mecânicos ou químicos, iniciando-se com a produção da polpa e terminando com o papel pronto para consumo e comercialização.

3.3 Avaliação dos aspectos e impactos

As indústrias de transformação brasileiras têm passado nas últimas décadas por inúmeros aperfeiçoamentos tecnológicos que melhoram seu desempenho ambiental, reduzindo os impactos de suas atividades. No caso da indústria de papel e da indústria têxtil os impactos se iniciam no cultivo e/ou extração da matéria-prima fibrosa do processo.

A celulose para papel, na maior parte dos processos brasileiros, origina-se da madeira do eucalipto. Este eucalipto é cultivado em monoculturas florestais que durante o seu crescimento vão fixando o gás carbônico da atmosfera. Cada árvore de eucalipto

pode seqüestrar até 20 kg de gás carbônico por ano. Um hectare de floresta jovem seqüestra, em média, 35 toneladas de CO₂ por ano. Entretanto, é possível questionar a viabilidade de se promover o plantio de eucalipto com um propósito ambiental, como o de conter o efeito estufa, quando se analisa a questão de uma forma mais ampla, a partir dos impactos causados pelas grandes monoculturas florestais no meio ambiente (solo, água, flora e fauna) e nas comunidades locais. Um hectare de floresta jovem seqüestra, em média, 35 toneladas de CO₂ por ano (ALMG, 2004). Outro fator muito preocupante é a sua eficiência produtiva versus consumo de água do eucalipto, mas de acordo com o BNDES (2007) apenas em regiões de pouca chuva, abaixo de uma faixa de 400 mm/ano, o eucalipto poderia acarretar ressecamento do solo.

De acordo com ZONATTI (2016), o cultivo de algodão e a indústria Têxtil também é responsável pela emissão de GEE, principalmente de N₂O (óxido nitroso) e CH₄ (gás metano), os quais têm um potencial de aquecimento 310 e 21 vezes superior ao CO₂, respectivamente, além do CO₂ e em menor escala o CO, o NH₃, o NO_x, SO₂, entre outros, devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados, a queima de resíduos e a utilização de máquinas nas operações e transporte e de outros diversos impactos ambientais, como apresentado na Figura 3.

Fibras Impactos ambientais		Algodão	Linho, outras fibras vegetais	Lã, outras fibras animais	Viscose, Acetato, Modal	Poliéster	Poliamida	Acrílica
OBTENÇÃO E/OU PRODUÇÃO DAS FIBRAS	Consumo de água	++	+	+	++	-	++	+
	Consumo de energia	+	-	-	+	++	++	++
	Fertilizantes Pesticidas	++	+	++	-	-	-	-
	Águas	-	++	++	++	-	-	-
	Emissões atmosféricas	-	-	-	++	++	++	++

++ Impacto muito significativo; + Impacto significativo; - Impacto pouco significativo

Figura 3 - Impactos ambientais associados às fibras têxteis. Fonte: Adaptado por Zonatti (2016) a partir de Turley et al. (2009)

A indústria de Papel e Celulose também possui diversos impactos ambientais atrelados à seu processo e entre eles estão resíduos sólidos como casca suja, serragem, licor negro, lodo orgânico, lama de cal, cinzas (MIRANDA, 2008), efluentes e poluentes atmosféricos, relacionados a diversos aspectos como mostra a Figura 4. De acordo com Miranda (2008), as águas residuais das etapas de cozimento e branqueamento contêm fibras de celulose, substâncias orgânicas dissolvidas, compostos químicos do licor de cozimento, valores elevados de demanda química de oxigênio (DQO), sólidos

dissolvidos e cloro residual. Os despejos líquidos das fábricas de papel, de maneira geral, contêm fibras divididas, cola ou amido, material de enchimento, tinta, corante, graxa, óleo, cloro residual procedente da torre de branqueamento nos sistemas onde ainda é utilizado, entre outros compostos, estando estes muito diluídos devido ao alto consumo de água no processo produtivo. E além destes efluentes líquidos, a indústria de Papel e Celulose também gera inúmeros poluentes atmosféricos como MP, TRS, SO_2 , NO_3 , CL_2 , ClO_2 e resíduos sólidos como pode ser visto nas figuras abaixo, além do elevado consumo de água e energia.

Aspecto Ambiental	Processos	Impactos Ambientais
Ruído	Pátio da Madeira; Deslignificação; Branqueamento	Incômodo à população
Uso/consumo de Água	Pátio da Madeira; Cozimento; Lavagem; Deslignificação; Branqueamento	Escassez Hídrica
Geração de Resíduos Químicos	Pátio da Madeira	Poluição do Solo
Emissão de Partículas	Pátio da Madeira; Lavagem; Branqueamento	Poluição Atmosférica
Geração de Condensado do vapor	Cozimento	Poluição Atmosférica
Emissão de vapor	Cozimento; Lavagem; Branqueamento	Poluição Atmosférica
Geração de Efluentes Líquidos	Cozimento; Lavagem; Deslignificação; Branqueamento	Poluição das Águas
Geração de Efluentes Orgânicos	Cozimento; Deslignificação; Branqueamento	Poluição das Águas
Geração de Resíduos Sólidos	Cozimento; Branqueamento	Poluição do Solo
Geração de Calor	Cozimento; Lavagem; Deslignificação; Branqueamento	Incômodo à população
Geração de Riscos	Pátio de madeira; Cozimento; Lavagem; Deslignificação; Branqueamento	Incômodo à população
Emissão de Substâncias Odoríferas	Lavagem; Deslignificação	Poluição Atmosférica; Incômodo à população
Evaporação de produtos Químicos	Branqueamento	Poluição Atmosférica; Incômodo à população

Figura 4 – Aspectos ambientais e impactos ambientais potenciais do processo de produção de papel analisado. Fonte: Edição própria de tabela de Manara et al. (2015).

O maior controle do material têxtil disposto em aterros e lixões resulta, por exemplo, na redução do espaço ocupado pelo grande volume de materiais, assim como na redução nos impactos resultantes da decomposição deste material orgânico. Por outro lado, verifica-se um novo impacto, a partir da inserção da etapa de transporte dos resíduos de uma indústria até o centro de armazenamento e processamento da outra. Com isto, destaca-se mais uma vez a necessidade da criação de um sistema de Simbiose Industrial baseado na proximidade das indústrias e em investimentos em toda a cadeia logística do sistema integrado.

Assim percebe-se que, ao realizar o processo integrado com a metodologia proposta praticamente eliminam-se os impactos relacionados ao descarte dos resíduos fibrosos têxteis ricos em algodão e os impactos relacionados à extração da matéria-prima da indústria de Papel e Celulose.

4 | CONCLUSÃO

A partir do levantamento teórico realizado, pode-se afirmar que o instrumento da Simbiose Industrial possui potencial para a melhoria ambiental do sistema de produção dos setores têxtil e de papel e celulose. No setor têxtil ao reduzir o impacto da disposição inadequada de seus resíduos e produtos e no setor de celulose e papel ao reduzir o impacto da exploração agrícola com fins de produção e extração de matérias primas. A implementação da Simbiose Industrial tem um influência positiva para ambos os setores ao demonstrar sua responsabilidade sócio-ambiental e ao produzir um papel diferenciado fruto de processo da sinergia e cooperação entre empresas

Porém, no que tange a viabilidade econômica deste processo, existem limitações, associadas aos custos iniciais, modificações de processo produtivo e custos com logística, e principalmente limitações relativas ao baixo grau de participação e conhecimento das indústrias em relação a prática e aos benefícios da Simbiose Industrial.

Para BARBIERI (2009), apesar dos inegáveis avanços e do desenvolvimento de instrumentos de gestão ambiental voltados a melhorar os processos produtivos, como a P2, a P+L, a ecoeficiência, a ACV, a SI, estes ainda são pouco conhecidos e implementados. Em parte, isso se deve à ausência de articulações e cooperação entre os diversos elos da cadeia e ausência de bancos de dados relativos ao processo produtivo, seus aspectos e impactos ambientais. O desenvolvimento do estudo aqui proposto demanda tempo, equipe multidisciplinar e uma diversidade de dados que, em muitos casos, demandam estudos específicos.

Assim, espera-se que trabalhos futuros possam dar continuidade ao tema apresentado. Para tanto, sugere-se a realização de:

- Uma ACV para o papel produzido a partir de aparas têxteis
- Uma ACV para comparar o processo convencional de fabricação de papel com o processo apresentado,
- Um estudo de avaliação da porcentagem mínima de algodão presente nos tecidos e aparas, visando aumentar a abrangência dos tipos de tecidos reciclados que permitam a produção de papel de qualidade,
- Um estudo que identifique outras metodologias que contribuam para melhor avaliar quantitativamente a viabilidade do processo.

5 | AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro pelo desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

ABIT – **Associação Brasileira da Indústria Têxtil**. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/>>. Acesso em 24 de novembro de 2017.

ALMG; **Cartilha do Eucalipto**. 2004. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/consulte/publicacoes_assembleia/cartilhas_manuais/arquivos/o_eucalipto.html>. Acesso em 15.04.2018.

BARBIERI, J. C. **Cadeia de suprimento e avaliação do ciclo de vida do produto: Revisão teórica e exemplo de aplicação**. O PAPEL vol. 70, num. 09, pp. 52 - 72 SEP 2009

CHERTOW, M.R. **Industrial symbiosis: literature and taxonomy**. *Annual Review of Energy and the Environment*, 2000, v.1, n.25, p. 313-3337, 2000. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/>>. Acesso em 03 de outubro de 2014.

CUNHA, R. **O algodão reciclado está mudando o jogo para a moda sustentável**. Publicação em blog pessoal. Disponível em: <<http://www.stylourbano.com.br/o-algodao-reciclado-esta-mudando-o-jogo-para-a-moda-sustentavel/>> Acesso em 20 de Novembro de 2017.

DONAIRE, D. **Considerações sobre a Influência da Variável Ambiental na Empresa**. Revista de Administração de Empresas (ERA), São Paulo: FGV, v.34, n.2, p.68-77, 1994.

ELABRAS-VEIGA, L.B.; MAGRINI, A. **Um quadro das recentes iniciativas de Ecologia Industrial e perspectivas para o Brasil**. XIV Congresso Brasileiro de Energia. “Sociedade, Energia e Meio Ambiente”. Rio de Janeiro. 2012.

FONTENELLE, I. A. (2017). **Cultura do Consumo: Fundamentos e Formas contemporâneas** (1^aed.). FGV editora.

MANARA, M; et al.; Avaliação do processo produtivo de celulose branqueada com base nos princípios da ACV - Avaliação do Ciclo de Vida. Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGET), Ceará, Outubro. 2015

MARX, K. **Para crítica da economia política: salário, preço e lucro**. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

MELO, Luiza. **Da madeira á folha: Conheça a Produção do Papel A4 da Suzano** . Revista Exame edição online, 18 de Setembro de 2015. Disponível em:<<https://exame.abril.com.br/negocios/da-madeira-a-folha-conheca-a-producao-do-papel-a4-da-suzano/>>. Acesso em: 10 Abr. 2018.

Miranda, R. E. D. S. D. **Impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados na produção de papel e celulose**. Monografia final, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2008.

DEPEC Bradesco. 2017. **Relatório de desempenho do setor de papel e celulose**. Disponível em: https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_papel_e_celulose.pdf. Acesso em 27 de Novembro de 2017

SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio a Micro e Pequena Empresa). **Sustentabilidade: Relatórios de Inteligência**. 2015. Disponível em: <http://sustentabilidade.sebrae.com.br/Sustentabilidade/Para%20sua%20empresa/Publica%C3%A7%C3%B5es/9_RI_SET_SUSTENTABILIDADE_NA_MODEA.pdf>. Acesso em: 5 de Setembro 2017.

SILVA, G.; KULAY, L., Avaliação do ciclo de vida. In: Vilela Júnior, A.; Demajorovic, J. (Org.). **Modelos e ferramentas de Gestão Ambiental: Desafios e perspectivas para as organizações**. São Paulo. Editora Senac, 2006.

VEIGA, J. E. **A insustentável utopia do desenvolvimento**. In: LAVINAS, L.; Liana, M. F.; Carleial, M. R. N. (orgs). Reestruturação do espaço urbano e regional no Brasil. S.Paulo: ANPUR-HUCITEC, pp.149-169. 1993.

ZONATTI, W. F. **Geração de Resíduos Sólidos da Indústria Brasileira Têxtil e de Confecção: materiais e processos para reuso e reciclagem**. 2016. 250 p. 2016. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Sustentabilidade). Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo. São Paulo/SP.

ESTUDO TEÓRICO SOBRE COMO REALIZAR UM PROCESSO DE OBTENÇÃO DE MELADO DE ALGAROBA (*Prosopis juliflora* Sw DC)

Karina da Silva Falcão

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa,
PB.

Alan Henrique Texeira

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa,
PB.

Clóvis Gouveia da Silva

Universidade Federal de Campina Grande,
Campina Grande, PB.

Mirela Mendes de Farias

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa,
PB.

Zildomar Aranha de Carvalho Filho

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa,
PB

Alan Henrique Texeira

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa,
PB

Mirela Mendes de Farias

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa,
PB

cosméticos e farmacêuticos. A metodologia proposta seguiu as seguintes etapas: obtenção, coleta, pesagem, sanitização, fragmentação e hidratação da matéria-prima. Para obtenção do produto final propôs-se que o material fosse prensado, filtrado e concentrado até o teor de sólido solúveis desejado para obter-se o melado de algaroba. Nos resultados são propostas possíveis análises a serem realizadas após o preparo do melado. Análises como AR, ART (sacarose e glicose) por DNS, Brix, viscosidade, densidade e cor. Portanto, conclui-se que, através desse processo facilite ao pesquisador que almeja realizar experimentos com algaroba e o ajude no momento de sua obtenção.

PALAVRAS-CHAVE: Algaroba, melado, açúcares, *Prosopis*.

**THEORETICAL STUDY ON HOW TO
CARRY OUT A PROCESS OF OBTAINING
ALGAROBA MOLASSES (*Prosopis juliflora* Sw
DC)**

ABSTRACT: The discovery of innovative products from regional raw materials available in semi-arid regions enhances the development and generation of employment and income for the population. The present work deals with how to perform a process of obtaining a loquat of algaroba with high nutritional value to be applied in the areas of confectionery, cosmetics and

RESUMO: A descoberta de produtos inovadores a partir de matérias-primas regionais disponíveis em regiões semiáridas potencializa o desenvolvimento e a geração de emprego e renda para a população. O presente trabalho aborda como realizar um processo de obtenção de um melado de algaroba com elevado valor nutricional a ser aplicado nas áreas de confeitoraria,

pharmaceuticals. The proposed methodology followed the following steps: obtaining, collecting, weighing, sanitizing, fragmentation and hydration of the raw material. And to obtain the final product it is proposed that the material be pressed, filtered and concentrated to the desired soluble solids content to obtain the algaroba molasses. In the results, possible analyzes are proposed to be carried out after preparation of the molasses. Analyzes such as AR, ART (sucrose and glucose) by DNS, Brix, viscosity, density and color. Therefore, it is concluded that, through this process, it facilitates the researcher who wants to perform experiments with algaroba and helps at the moment of its obtaining.

KEYWORDS: Algaroba, molasses, sugars, *Prosopis*.

1 | INTRODUÇÃO

A algarobeira, também conhecida no Brasil como algaroba, é uma leguminosa xerófita da família das leguminosae, de elevada resistência à seca, rápido crescimento, diversas aplicações e usos em regiões áridas e semiáridas do planeta. As plantas do gênero *Prosopis* tem facilidade para crescerem, semeiam de forma rápida e possui um porte bastante alto podendo atingir 20 metros de altura com um tronco de mais de um metro de diâmetro (SILVA, 2002).

A algarobeira, por ser uma xerófita de origem desértica, adapta-se bem a regiões com baixo índice pluviométrico e solos fracos, o que a torna uma cultura de elevada resistência a seca, rápido crescimento e variadas aplicações por comunidades rurais nos seus polos de produção. Em épocas de seca a planta serve como forma de alimentação animal por meses no sertão nordestino. Além de reduzir o custo que os produtores têm com a alimentação de milho, soja e trigo, já que a xerófita possui um custo mais baixo, servindo de ração animal (MAHGOUB, 2005).

A utilização da algarobeira abrange diversas áreas úteis e econômicas para quem a utiliza como na produção de carvão vegetal, alimentação humana e animal, sombreamento, jardinagem, álcool, melado, entre outras. No Nordeste a cultura da algaroba foi iniciada na década de 40 com o intuito principal de reflorestar e alimentar animais, porém atualmente sua utilização é um meio alternativo de valor para o homem (SILVA, 2001).

Já sob o ponto de vista econômico, além da elevada produtividade por hectare quando cultivada de forma racional e o baixo custo de produção, a análise consiste em perceber a importância do potencial nutricional e energético das suas vagens. As vagens maduras da algarobeira, normalmente conhecidas no nordeste brasileiro por “vagens de algaroba”, são aromáticas, muito palatáveis e carrega em seu mesocarpo elevado teor de açúcares.

Como a algaroba se adapta muito bem ao clima quente e com o solo pouco úmido em épocas de seca a planta serve como forma de alimentação animal por meses no sertão nordestino. Além de reduzir o custo que os produtores têm com a alimentação

de milho, soja e trigo, já que a xerófita possui um custo mais baixo, servindo de ração animal (MAHGOUB, 2005).

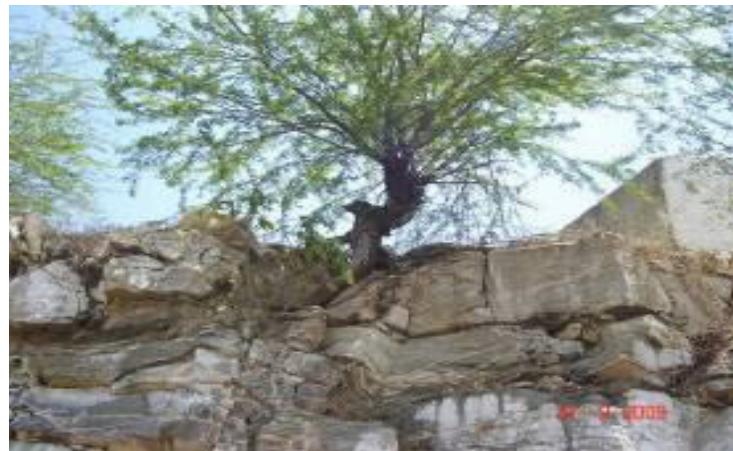


Figura 1 - Algarobeira. Fonte: Própria autoria.

Por volta da década de 70 ficou evidenciada a importância da algaroba no Nordeste brasileiro, foi quando ocorreu a implantação do projeto algaroba que foi criado pelo Ministério da Agricultura, com o intuito de incluir a algarobeira dentre as espécies de plantas que o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) financia (BORGES, 2004). O reconhecimento da planta leguminosa foi reconhecido por diversos motivos já citados, dentre eles o reflorestamento e seu valor nutricional.

Na maioria das vezes vagens da algaroba são transformadas em farinha e utilizadas na fabricação de bolos, pães, biscoitos, entre outras. Em relação as aplicações da algaroba, no mercado de alimentos já pode-se encontrar espessantes, modificadores de texturas, inibição de formação de cristais, emulsificação e suspensão (FIGUEIREDO, 2000).

O alto teor de açúcares contido em suas vagens, principalmente, sacarose e glicose, quando obtidos por métodos eficientes de extração, pode viabilizar, dentre outras aplicações no processo de produção de melado a partir da algaroba.



Figura 2 - Vagens de Algaroba. Fonte: Própria autoria.

Dessa forma, o processo de obtenção de melado a partir dos açúcares obtidos através das vagens da algarobeira, gera conhecimento, viabiliza uma inovação tecnológica e possibilita maior valor agregado a cultura da algarobeira nas regiões produtoras.

O melado nada mais é do que um xarope de caldo de cana-de-açúcar concentrado, um subproduto da cana-de-açúcar que é obtido através da evaporação do caldo de cana. Possui um alto poder energético por ser nutritivo, é doce, com coloração marrom, bem parecido com mel e pode ser consumido com diversos alimentos como pães de mel ou até mesmo utilizado para adoçar bebidas. (CHAVES, 2008).

De acordo com a (ANVISA, 2005) o melado é definido como “Produto obtido pela concentração do caldo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) ou a partir da rapadura derretida”. É importante lembrar que na produção de melado não devem utilizar-se matérias-primas não fermentadas, nem aditivos químicos como conservantes e corantes.

Não confundir melado com melaço, o processo de obtenção do melaço é diferente, pois seu produto é obtido como resíduo da fabricação do açúcar cristalizado, do melado ou da refinação do açúcar bruto, maioria de sua utilização no Brasil é a alimentação animal ou produção de álcool (FAGUNDES, 2010).

A obtenção do melado de algaroba é o mesmo processo que o melado de cana-de-açúcar é de fácil obtenção com fervura de suas vagens e logo em seguida com a evaporação e filtração do produto (BORGES, 2004).

Apesar da produção de melado ser pequena é uma ótima opção para serem inseridos em produções alimentícias, como as rapaduras. Por ser uma matéria-prima abundante pode-se chamar a atenção a pequena parcela de produtos dessa origem nas gôndolas dos supermercados. Podem ser citadas a falta de qualidade dos melados

comercializada e a pequena produção como fator de bloqueio para o crescimento da comercialização de melado (SEBRAE – MG).

Portanto, o objetivo desse trabalho foi desenvolver uma metodologia capaz de extrair, concentrar e produzir um produto derivado da algaroba, de valor comercial reconhecido, possível de ser aplicado em formulações alimentícias (recheios, xaropes, solventes, doces), cosméticas (umectantes, hidratantes) e em bebidas (como adjuntos em cervejas, vinhos, licores, vinagres), dentre outras aplicações.

2 | METODOLOGIA

O processo de obtenção de melado a partir dos açúcares extraídos dos frutos da algarobeira foi desenvolvido nas dependências do Laboratório de Análises e Pesquisas de Bebidas Alcoólicas - LBA, pertencente ao departamento de Engenharia Química no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campus I em João Pessoa, Paraíba.

As vagens utilizadas no processo, provenientes de regiões semiáridas do Estado da Paraíba, foram coletadas manualmente após queda natural durante o período de safra, acondicionadas em sacos de nylon com aproximadamente 25 kg e transportadas ao laboratório onde foram submetidas à seleção e pesagem.

A seleção foi realizada levando-se em consideração o estado de maturação, os danos mecânicos sofridos durante a coleta e o transporte, o ataque de insetos, atrofiamento, mofos, resíduos de terra, pedras, galhos e sujeiras. Enquanto que, para realização da pesagem foi utilizada uma balança da marca EVEN, modelo B-15, com capacidade máxima para 15 Kg, e teve como objetivo, controlar quantitativamente todas as operações unitárias relativas às demais etapas do processo, tais como: sanitização, fragmentação, hidratação e prensagem.

A sanitização das vagens foi realizada imergindo-as em solução bactericida a 50 ppm de hipoclorito de sódio e teve como objetivo eliminar qualquer tipo de contaminação por microrganismos patogênico e/ou deteriorante. A remoção do cloro residual utilizado como sanitizante foi feita enxaguando-se as vagens em água corrente por cerca de 6 min. Em seguida, foram fragmentadas manualmente em pedaços de aproximadamente 1,5 cm.

A fragmentação teve como principal objetivo reduzir o tamanho das partículas sólidas e aumentar a área de contato entre a fase líquida e a fração sólida do material. Considerando que os açúcares contidos no interior das vagens da algarobeira não se encontram dissolvidos em solução como os sucos, para facilitar a abertura das células e a sua desagregação, fez-se necessário à adição de água potável, na proporção de 1:2 m/v, a uma temperatura média de $65\pm5^{\circ}\text{C}$, por 30 min. Em seguida, deixa-se esfriar em repouso por aproximadamente 4 h até o intumescimento total das partículas.

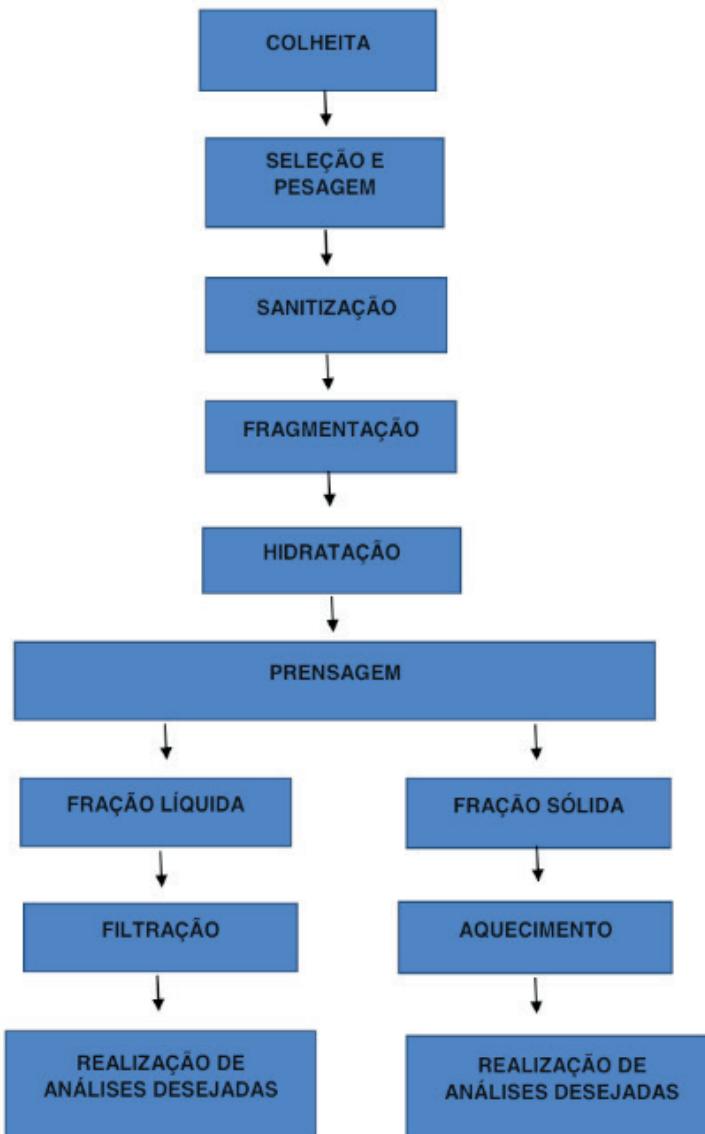
Depois de concluídas todas as etapas de preparo da matéria-prima, o material hidratado foi submetido à prensagem. No processo operacional de prensagem, foi

utilizada uma prensa hidráulica manual de marca SKAY com capacidade máxima de 30 toneladas, composta por um êmbolo na parte central do sistema, medindo 19,50 cm de diâmetro externo por 2,00 cm de espessura, um cilindro em aço inox perfurado medindo 22,00 cm de altura x 35,00 cm de diâmetro, encamisado por um copo coletor externo, medindo 25,00 cm diâmetro por 25,00 cm de altura e uma torneira para coleta da fração líquida extraída durante o processo de prensagem.

Ao término do processo de extração foram obtidas duas frações: a fração líquida composta pelo o extrato aquoso (xarope) para obtenção do melado e a fração sólida composta pelo resíduo sólida a ser utilizada como subprodutos na composição de rações e outros produtos.

O extrato aquoso foi submetido a uma filtração em uma peneira de Nylon fina para eliminação de partículas sólidas em suspensão do meio.

A fração sólida foi submetido ao processo de aquecimento à temperatura média de fervura, até a concentração de sólidos solúveis totais desejadas no melado. Segue um fluxograma de forma mais sucinta sobre o processo de obtenção do melado de algaroba para auxiliar na compreensão da metodologia.



3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados serão apresentados de forma qualitativa, já que a intenção da pesquisa é encaminhar profissionais que desejam iniciar projetos com a obtenção do melado de algaroba.

O processo de obtenção do melado de algaroba pode ser diferente comparando-se produtos finais, tudo vai depender da seleção das vagens se foram bem sanitizadas (BORGES, 2004), já o rendimento dependerá de fatores como o equipamento de prensagem, e a quantidade de sulco nas vagens.

A cor e o cheiro no processo final foram bastante significativas possuiram cor voltada para a tonalidade do amarelo ocre e cheiro adocicado como mencionada em literatura já expostas ao longo do texto introdutório.

Considera-se um processo simples para ser realizado, porém de suma importância em toda a obtenção manter o controle de qualidade ótimo. O único equipamento que será complicado manusear é a prensa, pois é um aparato grande que utiliza pressão e peso elevados.

Após o processo de obtenção do melado de algaroba será possível realizar diversas análises como AR (açúcares redutores) e ART (açúcares redutores totais) por DNS, Brix, viscosidade, densidade, cor, umidade, cinzas, fibras, entre outras. Tudo dependerá da finalidade para que o melado seja utilizado.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que este método de obtenção de melado de algaroba é bastante simples e econômico. Segundo Rodrigues (2017) tendo em vista que sua abundância no semiárido nordestino é tanta chega a ser considerada uma invasora na natureza causando impactos ambientais.

A utilização do produto final é viável na fabricação de bolos, metanol, ração animal, nada do processo gera resíduo já que o bagaço da algaroba pode servir de ração animal.

A metodologia desenvolvida foi de fato válida já que como forma de teste foi entregue a um pesquisador que nunca havia realizado o processo de obtenção deste melado. E, com as instruções contidas na metodologia pôde ser realizada até o fim, contribuindo dar início a realizações de análises desejadas para gerar produtos, seja alimentício, cosmético ou farmacêutico.

REFERÊNCIAS

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Regulamento técnico para Açúcares e produtos para adoçar.** Resolução RDC nº 271. 2005.

BORGES, I. F. **Obtenção e caracterização do melado de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC) e sua utilização em uma formulação alimentícia.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de

Alimentos) –UFPB. João Pessoa, p. 26. 2004.

CHAVES, J. B. P.; SILVA, F. S.; CESAR, M. A. A. **Como produzir melado e açúcar mascavo.** Viçosa/MG, CPT. 2008. 258p.

FAGUNDES, A. D. R. **Características nutricionais com ênfase no ferro e capacidade antioxidante de melados produzidos em Santa Catarina.** Dissertação (Dissertação em Nutrição) – UFSC. Florianópolis, p. 16. 2010.

FIGUEIREDO, A. A. **Algaroba, Tecnologia, produtos e usos: Meio século no Brasil.** Rio de Janeiro, Brasil, p.17. 2000.

MAHGOUB, O. **Evaluation of Meskit (*Prosopis juliflora*) pods as feed for goats. Animal Feed Science and Technology.** v. 121, n. 3-4, p. 319-327, 2005.

RODRIGUES, L. A.; RODRIGUES, F. W. A.; RODRIGUES, C. A.; BRINGEL, M. F. A. **Os Impactos Na Paisagem Rural Provocados Pela Invasão do Algaroba (*Prosopis juliflora*) (Sw) D. C. Na Comunidade do São Francisco Do Brígida, Serrita – Pe.** In: II Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 2017, Campina Grande. Anais V. 1, 2017, ISSN 2526-186X. II CONIDIS, 2017. p. 1-2.

SEBRAE - MG. A fabricação de melado – **Uma opção para produtores de cachaça e de rapadura.** Disponível em: Acesso em: 27 de Jun. 2019.

SILVA, C. G. **Desenvolvimento de um sistema micro-industrial para obtenção de aguardente bdestilada de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFCG. Campina Grande, p.7. 2002.

SILVA, S. A. et al. **Estudo termogravimétrico e calorimétrico da algaroba.** Química Nova, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 460-464, 2001.

ESTUDO QUÍMICO E FARMACOLÓGICO DE *Artocarpus altilis (Parkinson) Fosberg*

Alice Joana da Costa

Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro brasileira - UNILAB
Redenção - Ceará.

Mônica Regina Silva de Araújo

Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro brasileira - UNILAB
Redenção - Ceará.

Beatriz Dias

Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro brasileira - UNILAB
Redenção - Ceará.

Chistiane Mendes Feitosa

Universidade Federal do Piauí,
Teresina - Piauí.

Renata Paiva dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Ceará (IFCE)
Baturité - Ceará.

Daniele Alves Ferreira

Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro brasileira - UNILAB
Redenção - Ceará.

Felipe Pereira Silva de Araújo

pão, rima, e fruteira de pão. Levantamento bibliográfico realizado no Scinfinder exibiu estudos com as folhas revelando atividades antioxidante, antimicrobiana, antifúngica, antialérgica, anti-inflamatória, antidiabética e antimonalária. O objetivo do trabalho foi realizar testes fotoquímicos com os extratos hexânico (EHFAA) e etanólico (EEFAA) das folhas para identificar as classes metabólicos secundários presentes, analisar os extratos através de cromatografia em camada delgada (CCD), toxicológico, larvicida, citotóxico, inibição enzimática de acetilcolinesterase e fator de proteção solar (FPS). As análises fotoquímicas revelaram a presença de taninos hidrolisáveis (ausência no EEFAA), fenóis, triterpenos, esteroides e alcaloides. O teste da toxicidade frente às larvas de *Artemia salina* apresentou DL_{50} 146,01 ppm para EHFAA e DL_{50} 65,397 ppm para EEFAA, sendo o extrato hexânico considerado moderadamente tóxico e extrato etanólico altamente tóxico. Tanto no teste de toxicidade frente às larvas de *Aedes aegypti* e de toxicidade pelo método MTT ambos os extratos não apresentaram resultados satisfatórios. No teste qualitativo de inibição a enzima acetilcolinesterase apenas EHFAA apresentou manchas brancas quando comparado ao padrão cafeína. EHFAA exibiu FPS de 2,17 e EEFAA de 6,6 considerados baixos. No entanto, este estudo contribuiu para o conhecimento

RESUMO: *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg pertencente à família Moraceae, originária da Malásia e Indonésia encontra-se distribuída nas regiões de clima tropicais e subtropicais do mundo. Popularmente conhecida como fruta

quimiotaxonômico da espécie *A. altilis* e da família Moraceae.

PALAVRAS-CHAVE: *Artocarpus altilis*, Moraceae, Fitoquímica.

CHEMICAL AND PHARMACOLOGICAL STUDY OF *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg

ABSTRACT: *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg belonging to the Moraceae family, originating in Malaysia and Indonesia, is distributed in the tropical and subtropical regions of the world. Popularly known as fruit bread, rhyme, and breadfruit. Scinfinder bibliographic survey showed leaf studies showing antioxidant, antimicrobial, antifungal, antiallergic, anti-inflammatory, antidiabetic and antimalarial activities. The objective of this work was to perform phytochemical tests with the hexane (EHFAA) and ethanolic (EEFAA) extracts of the leaves to identify the secondary metabolites classes present, to analyze the extracts by delegate layer chromatography (CCD), toxicological, larvicide, cytotoxic, inhibition. acetylcholinesterase enzyme and sun protection factor (SPF). Phytochemical analyzes revealed the presence of hydrolysable tannins (absence in EEFAA), phenols, triterpenes, steroids, and alkaloids. The toxicity test against *Artemia salina* larvae presented LD₅₀ 146.01 ppm for EHFAA and LD₅₀ 65.397 ppm for EEFAA, being the hexane extract considered moderately toxic and the highly toxic ethanolic extract. Both the toxicity test against *Aedes aegypti* larvae and MTT toxicity both extracts did not show satisfactory results. In the qualitative inhibition test the enzyme acetylcholinesterase only EHFAA showed white spots when compared to the caffeine standard. EHFAA exhibited SPF of 2.17 and EEFAA of 6.6 considered low. However, this study contributed to the chemotaxonomic knowledge of the species *A. altilis* and the family Moraceae.

KEYWORDS: *Artocarpus altilis*, Moraceae, Phytochemical

1 | INTRODUÇÃO

O uso de produtos naturais como matéria prima para síntese de substâncias bioativas tem sido amplamente relatado ao longo do tempo. Os primeiros registros do uso de plantas como medicamentos datam de 2600 a.C, na Mesopotâmia, onde determinadas espécies como *Glycyrrhiza glabra* (alcaçuz) e *Papaver somniferum* (papoula), usadas até hoje, eram empregados no tratamento da tosse, resfriados e infecções parasitárias. Antes do início do século XX, o uso dos produtos naturais se limitava principalmente ao uso de extratos e preparados a partir de plantas, baseado na observação empírica do efeito causado pela sua administração (BASTOS, 2016).

Artocarpus altilis (Parkinson) Fosberg, pertencente à família Moraceae é encontrada no Brasil em muitos pomares de quintais do litoral Nordestino, onde é popularmente conhecida como fruta pão, rima e fruteira-de pão. *A. altilis* é uma planta nativa da Indonésia e Malásia, onde foi introduzida no Brasil no início do século XIX (CALVAZARA, 1987). É considerada uma das espécies mais amplamente difundidas na medicina popular nordestina, as raízes são utilizadas no tratamento da diarreia; seu

cozimento torna-se útil contra reumatismo; as flores no tratamento da inflamação, a polpa do fruto reduzida a pasta quente é utilizada em tumores e furúnculos; e o látex usado como cicatrizante de feridas (FREITAS, 2012).

De acordo com Porto 2011 espécies pertencentes à família Moraceae apresentam várias atividades biológicas, sendo de grande importância ponto de vista farmacológico, como por exemplo, antimicrobiana, antibacteriana, antifúngica, antioxidante, anti-inflamatória, antimalária, citotóxica; anticancerígena; antiandrogênica, anti-HIV, antileucêmica, anticoagulante, anti-hemorrágica e antialérgica. A família Moraceae é caracterizada pela presença de saponinas, antocianidinas, flavonoides, triterpenos, cumarinas, alcaloides, esteroides, estilbenos, benzofuranos, xantonas, entre outros metabólitos secundários. Dando destaque aos flavonoides, triterpenos, e esteróides, devido ao grande número de ocorrência na família Moraceae, sendo caracterizados como marcadores químicos da família.

A família Moraceae possui representantes bastante conhecidos no Brasil, como a *Morus nigra*, *Artocarpus heterophyllus*, *Ficus carica*, e *Artocarpus altilis* (Figura 1).



Figura 1 - Moraceae frutíferas. A - *Morus nigra* L. B - *Artocarpus altilis*; C - *Artocarpus heterophyllus* ; D - *Ficus carica*.Fonte: Sampaio, 2017.

Sabe-se que é prevalente nas regiões tropicais, entretanto, existem representantes nas áreas temperadas, embora seja em menor proporção. No Brasil, com a sua imensa biodiversidade, apresenta cerca de 30 % dos gêneros, que estão localizados, em sua maioria na floresta Amazônica (JACOMASSI, 2006).

O gênero *Artocarpus* é composto por aproximadamente 50 espécies que são amplamente distribuídas no mundo nas regiões tropicais e subtropicais (PORTO, 2011). Esse gênero *Artocarpus* consiste em compostos fenólicos que incluem flavonoides, jacalina, lectina e stilbenoides, os metabólitos secundários que são encontrados nos extratos das folhas, caule, fruta e casca contêm vários compostos ativos benéficos biologicamente ativos e esses compostos possuem várias atividades biológicas, como a antibacteriana, antituberculár, antiviral, antifúngica, antiplaquetária, antiartrítica, inibidor de tirosinase e citotoxicidade (SIKARWAR et al, 2014).

Os estudos relacionados com substâncias fenólicas, encontrados na espécie revelam diversas atividades biológicas e farmacológicas, atribuídos a sua presença e

a de seus derivados. As atividades biológicas mais estudadas com relação às folhas da espécie foram atividade antioxidante, antimicrobiana, antifúngica, antialérgica, antiinflamatória, antidiabético e antimalárico em levantamento bibliográfico realizada em maio e novembro 2017 no Scinfinder.

Considerando o grande número de trabalhos publicados sobre utilização da espécie na China, Malásia e Índia com componentes ativos em preparações farmacêuticas, torna-se relevante um melhor conhecimento do uso tanto químico e farmacológico da espécie, tendo sua importância na contribuição do ensino, pesquisa e extensão para o desenvolvimento de novos fármacos.

2 | METODOLOGIA

2.1 Coleta e obtenção dos Extratos Vegetais

As folhas de *Artocarpus altilis* Parkinson foram coletadas em novembro de 2016, no Jardim de um fazendeiro no distrito Antônio Diogo (4°18'35.9"S 38°44'39.6"W) do município de Redenção-CE. Uma excicata da espécie foi preparada e depositada no Herbário Prisco Bezerra da Universidade Federal Ceará (UFC) com numeração 60602. A identificação do material vegetal foi realizada pela botânica Professora Dra. Maria Iracema Loiola, do Departamento de Biologia da UFC.

As folhas secas e moídas (413,4 g) foram submetidas à maceração exaustiva com hexano a temperatura ambiente. A solução resultante foi concentrada em evaporador rotativo, para obtenção do extrato hexânico (EHFAA), obtendo-se 5,17 g de extrato. O procedimento de extração foi repetido com álcool etílico, rendendo 37,29 g de extrato etanólico (EEFAA).

2.2 Testes Fitoquímicos

Os testes para identificação dos metabólitos secundários presentes foram realizados através de reações gerais, seguindo a metodologia adaptada de (MATOS, 2009), e (COSTA, 2014). Pesou-se 1 g de cada extrato bruto e dissolveu-se em solução hidroalcoólica (80%), resultando em uma solução estoque de cada extrato. Os extratos hexânico e etanólico foram submetidos aos seguintes testes de acordo com a metodologia proposta por MATOS (2009) e (COSTA, 2014).

2.2.1 Testes para fenóis e taninos

Adicionou-se 3 gotas de solução alcoólica de FeCl_3 em 3 mL de solução estoque contida em tubo de ensaio. Adicionou-se também 3 gotas de FeCl_3 em tubo de ensaio contendo apenas água (Branco). Agitaram-se os tubos e aguardou-se possível a variação de cor ou formação de precipitado nas amostras.

2.2.2 *Testes para antocianinas, antocianidinas e flavonoides*

Foram adicionados em três tubos de ensaio 3 mL de solução estoque. No primeiro foi adicionado por HCl (1M) até pH 3, no segundo tubo NaOH 10 % até pH 8,5 e no terceiro tubo NaOH 10 % até pH 11. Agitaram-se os tubos e aguardou-se possível mudança de coloração.

2.2.3 *Testes para leucoantocianidinas, catequinas, e flavonas*

Foram separados dois tubos de ensaio e adicionou-se 3 mL de solução estoque em cada tubo. No primeiro tubo adicionou-se HCl (1 M) até pH 1-3, no segundo tubo NaOH 10 % até pH 11. Aqueceram-se os tubos em banho Maria cerca de 3 minutos, e agitaram-se bem os tubos e aguardou-se possível surgimento de mudança de cor por comparação com os tubos correspondentes usados no teste anterior.

2.2.4 *Teste para flavonóis, flavanona, flavanonois e xantonas*

Em um tubo de ensaio adicionou-se 3 mL de solução estoque juntamente com alguns centigramas de magnésio granulado e 0,5 mL de HCl concentrado. Após o termino da reação indicada pelo fim de efervescência observou-se por comparação visual ao tubo de teste anterior acidificado possível mudança de coloração na mistura de reação.

2.2.5 *Teste para esteroides e triterpenos (Liebermann Burchard)*

Adicionou-se 5 mL de solução estoque para um tubo de ensaio deixando evaporar o solvente em banho Maria até a secura. Adicionou-se 5 mL de diclorometano para a dissolução do extrato seco. Após esse processo, filtrou-se a solução. Adicionou-se 1 mL de anídrico acético, 2 mL de H_2SO_4 concentrado. Agitou-se bem o tubo e aguardou-se possível variação de cor na amostra.

2.2.6 *Testes para heterosídeos saponínicos*

Adicionou-se no resíduo insolúvel em diclorometano, obtido no teste anterior, 5 mL de água destilada para solubilização do mesmo. Em seguida filtrou-se a solução e transferiu-se para um tubo de ensaio filtrado. Agitou-se o tubo fortemente por 2 minutos e observou-se se havia formação de espuma persistente.

2.2.7 *Teste para alcaloides*

Levou-se a secura 10 mL da solução estoque em banho Maria. Adicionou-se o resíduo seco 1 mL de etanol e 2 mL de solução de HCl concentrado. Transferiu-se

1 mL da solução para cada 2 tubos ensaios. Adicionou-se em cada um dos tubos, respectivamente algumas gotas dos reagentes de precipitação de alcaloides: Mayer, e Dragendorff. Observou-se possível precipitação ou turvação das amostras.

2.3 Cromatografia em camada delgada (CCD)

Os extratos hexânico (EHFAA) e etanólico (EEFAA) das folhas de *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg foram analisados por cromatografia em camada delgada (CCD).

Primeiramente prepararam-se as cromatoplacas de vidro que foram lavadas com detergente e passou-se acetona em sua superfície. A sílica, fase estacionaria utilizada, foi pesada 25 g de sílica gel da Merck, que foi suspensa em aproximadamente 50 ml de agua, e aplicada nas cromatoplacas de vidro deixando-as secar longe de qualquer umidade. Após secas foram levadas para ativação em estufa a 100°C por 30 minutos, e mantidas em aquecimento a 50°C. Os extratos hexânico e etanólico foram diluídos em clorofórmio e aplicados nas cromatoplacas com auxílio de um capilar. Para a fase móvel foram utilizadas misturas de solventes hexano - acetato etila (8:2) e clorofórmio-metanol (9:1). A revelação das substâncias foi feita por pulverização das placas com solução de sulfato cérico $[Ce(SO_4)_2]$, seguido de aquecimento (100°C) por 5 minutos em estufa. Utilizou-se também vapores de iodo para revelar as cromatoplacas.

2.4 Toxicidade frente a larvas de *Artemia salina*

O teste de toxicidade frente a *Artemia salina* foi realizado seguindo a metodologia de (AMARANTE, 2011). Primeiramente preparou-se uma solução com NaCl na concentração de 60 g/L com pH na faixa de 8,0 - 9,0. Esta solução foi utilizada para eclosão dos ovos de *Artemia salina* e no preparo das soluções das amostras. Os ovos foram colocados para eclodir na solução salina por 24 horas por iluminação artificial em temperatura ambiente entre 26° C a 29° C.

Dissolveu-se 17 mg dos extratos hexânico e etanólico das folhas de *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg em 17 mL de DMSO 1 % resultando em uma solução estoque de concentração 1 mg/mL ou 1000 ppm. Foram preparadas soluções salinas a partir da solução estoque nas concentrações (500, 250, 125, 62,5, 31,2 ppm). Cerca de 10 larvas de *Artemia salina* com idade de 24 horas foram transferidas para tubos de ensaio contendo 5 mL de solução salina 60 g/L. As larvas de *Artemia salina* foram incubadas sob iluminação artificial. O ensaio foi realizado em triplicata, sendo a contagem das larvas mortas e vivas realizada após 24 horas. A água salina foi o controle negativo do experimento. Passado as 24 horas de incubação das larvas de *Artemia salina*, realizou-se a contagem de exemplares de *Artemia salina* vivas e mortas sendo o percentual de sobrevivência calculado através da seguinte formula.

$$\% \text{ mortalidade} = \frac{x-y}{100-y} \times 100$$

(Equação 1)

Onde:

M= porcentagem de mortalidade

x = número de organismos mortos

y = número total de organismo no tubo

A relação entre dose e mortalidade, e o cálculo da DL_{50} foi através do Probit Analysis. De acordo com (AMARANTE, et al. 2011) o grau de toxicidade é dado da seguinte forma: baixa toxicidade quando a dose letal (DL_{50}) > 500 ppm; moderada para dose letal (DL_{50}) for entre 100 e 500 ppm e muito tóxico quando (DL_{50}) < 100 ppm.

2.5 Atividade de Inibição da Enzima Acetilcolinesterase (AchE)

O ensaio para detecção de inibição qualitativa da enzima AchE foi realizado com extratos brutos da espécie dissolvido em metanol para se obter uma concentração de 1 mg mL⁻¹. Então 1,5 - 2,5 µL de cada amostra foi aplicada em placa de sílica gel e eluida em clorofórmio- metanol (9:1). A cromatoplaca com as amostras testas foram pulverizadas com DTNB (ácido 5, 5'- ditiobis- [2- nitrobenzoíco] / ATCI (Iodeto de acetiltiocolina) (1 mM DTNB e 1 Mm ATCI em tampão tris pH 8) até que houvesse saturação com o reagente, mas não tanto para escorrer. Após a placa ter desenvolvido atividade inibitória um spot pode ser detectado utilizando revelador baseado no método de Ellman (ELLMAN, et al, 1961) modificado por Rhee (RHEE, et al, 2001). A placa pulverizada com DTNB e ATCI, depois de seca por 3-5 min foi pulverizada com 3 units/mL da enzima dissolvida em tampão tris a pH 8. O teste demonstrara resultado positivos caso apresente manchas brancas em um campo amarelo da placa cromatográfica. Foi utilizado cafeína como padrão de análise.

2.6 Fator de proteção solar contra raios UV

Para determinação do comprimento de onda máximo de absorção (λ_{max}) e determinação do FPS dos extratos hexânico e etanólico foi utilizado o método *in vitro* desenvolvida por Mansur *et al* (1986).

Inicialmente, pesou-se 5 mg de cada extrato que foram diluídos em 50 mL de etanol absoluto e transferiu-se a solução para um balão volumétrico 50 mL, resultando em uma solução mãe de concentração 100 mg/L.

A partir da solução mãe (100 mg L⁻¹) foram preparadas diluições resultando em concentrações de 5, 25 e 50 mg L⁻¹. As soluções foram preparadas em triplicata. Em seguida, foram realizadas medidas em espectrômetro Modelo T80 UV/Vis de comprimento de onda entre 190 - 400 nm, com intervalos de 5 nm. As leituras foram

realizadas com células de quartzo de 1 cm e o etanol utilizado como o branco. O cálculo do SPF foi obtido de acordo com a equação desenvolvida por Mansur *et al.* (1986):

$$\text{SPF}_{\text{Spectrometria}} = \text{FC. } \Sigma_{290}^{320} \text{EE}(\lambda) \cdot \text{I. Abs}(\lambda)$$

(Equação 2)

Onde:

EE (λ) - espectro do efeito eritematoso;

I (λ) - espectro de intensidade solar;

Abs (λ) - absorbância do filtro solar;

CF - fator de correção (= 10).

Os valores de EE x I são constantes. Eles foram determinados por Mansur *et al.* (1979), e estão mostrados na Tabela 1.

Comprimento de onda (nm)	EE x I
290	0,015
295	0,0817
300	0,2874
305	0,3278
310	0,1864
315	0,839
320	0,018
Total	1,0000

Tabela 1 - valores empregados na determinação do FPS por espectrofotometria. Fonte: Mansur, *et al* (1986).

3 | RESULTADOS

Os testes fitoquímicos dos extratos permitiram identificar a presença de esteroides, alcaloides, triterpenos, taninos hidrolisáveis e fenóis nas folhas de *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg.

A análise em cromatografia em camada delgada (CCD) dos extratos hexânico e etanólico eluidos com Hexano- Acetato de Etila (8:2) e Clorofórmio- Metanol (9:1) utilizando sulfato cérico $[\text{Ce}(\text{SO}_4)_2]$ como revelador mostrou manchas nas colorações roxa indicando a possível presença de substâncias de natureza terpenóidica e verde indicando a possível a presença de clorofila (CHAVES, 1997). As cromatoplacas estão ilustradas na Figura 2.

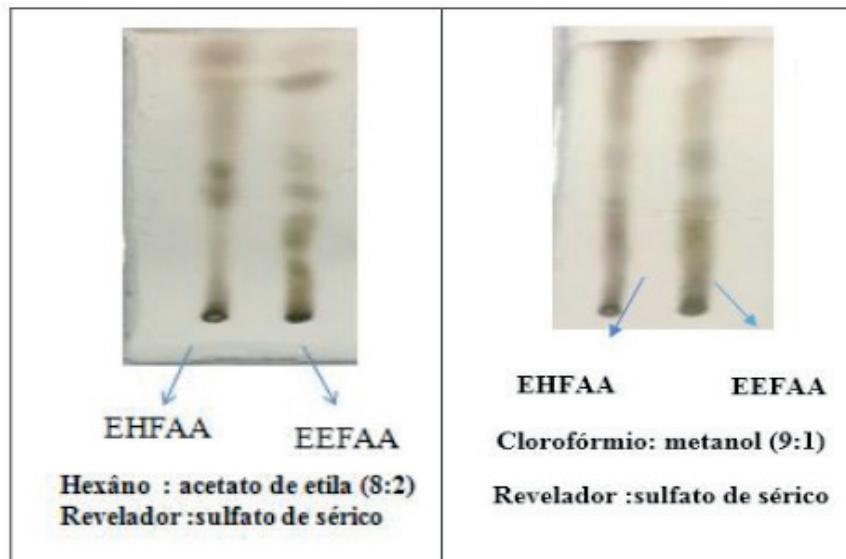


Figura 2 - Cromatoplacas com os extratos hexânico e etanólico das folhas *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg

A avaliação de toxicidade frente a *Artemia salina* apresentou uma concentração letal (DL_{50}) de 146,01 ppm para EHFAA e 65,397 ppm para EEFAA. De acordo com AMARANTE et al, 2011, o extrato hexânico das folhas de *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg, foi considerado moderadamente tóxico frente às larvas de *Artemia salina*, e o extrato etanólico das folhas de *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg, foi considerado altamente tóxico frente às larvas de *Artemia*.

Na revelação da placa de CCD (Figura 3) com DNTB/ACTI foi verificado uma mancha branca apenas para o extrato hexânico quando comparando ao padrão cafeína. No entanto a mancha não se apresentou tão intensa quando comparada ao padrão devido ao fato de concentração do padrão ser maior.

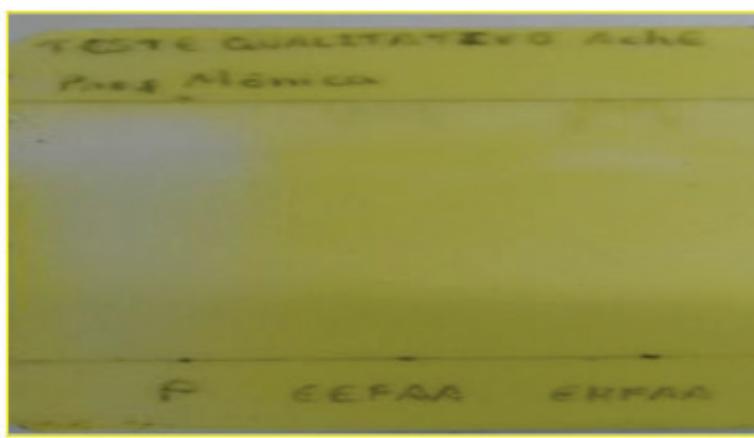


Figura 3 – Teste qualitativo AChE *P*= padrão; *EEFAA*; *EHFAA*

Os resultados obtidos para FPS dos extratos hexânico e etanólico representam a absorbância em relação ao comprimento de onda máximo (λ) numa faixa de 240 a 400, que compreende a faixa de radiação nociva (UVA 320 e 400 nm e UVB 290 e 320) responsável pelos danos de queimaduras solares (VIOLANTE, 2009). O extrato

hexânico apresentou comprimento de onda máximo em aproximadamente 215 nm (Gráfico 1) e o extrato etanólico apresentou comprimentos de ondas máximos em 220 e 280 nm (Gráfico 2), sendo ambos dentro da região Ultravioleta C (UVC 200- 290 nm). A radiação UVC é praticamente toda absorvida pela camada de ozônio, pouquíssima radiação chega à biosfera.

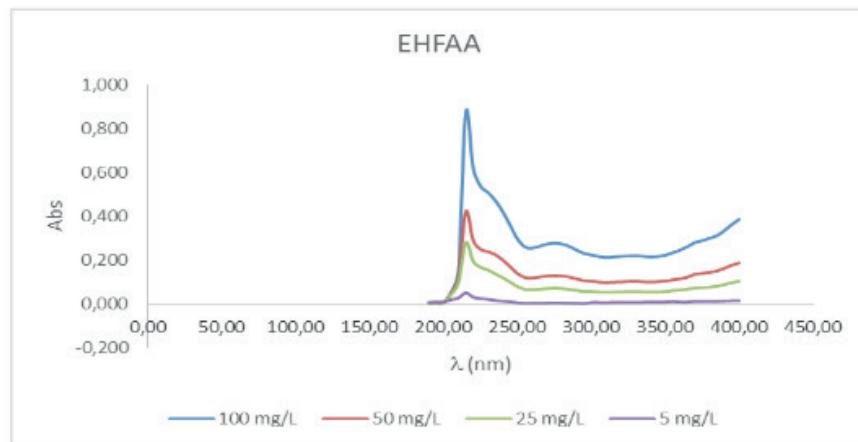


Gráfico 1 – Perfil de absorção espectrofotométrica do extrato hexânico de *Artocarpus. altilis* (Parkinson) Fosberg.

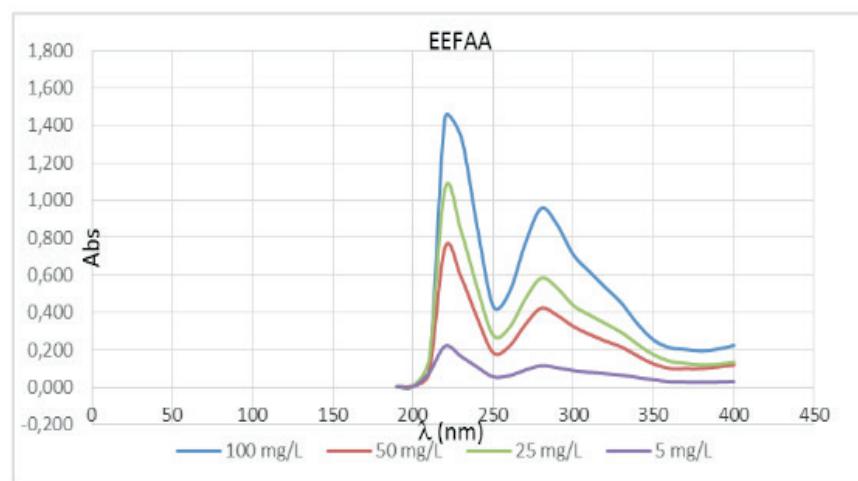


Gráfico 2 – Perfil de absorção espectrofotométrica do extrato etanólico de *Artocarpus. altilis* (Parkinson) Fosberg.

O fator de proteção calculado para o extrato hexânico e etanólico seguiu a metodologia de Mansur, 1986 que utilizada a região UVBL, que é considerado como a região de maior incidência dos raios UV devido a sua alta energia. De acordo com a equação 2, foi possível determinar um FPS para o extrato hexânico de 2,17 na concentração de 100 mg/mL, sendo considerando um FPS baixo, e o extrato etanólico um FPS de 6,65 na concentração de 100 mg/mL, sendo considerando também um FPS baixo, de acordo com as categorias de fotoprotetores baseados no valor de FPS (SCHALKA et al 2011).

4 | CONCLUSÃO

O presente trabalho estudou os extratos hexânico e etanólico das folhas de *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg. A análise fitoquímica dos extratos revelou a presença de esteroides, alcaloides, triterpenos, taninos hidrolisáveis e fenóis que foram corroborados pela análise em CCD permitindo inferir que se trata de uma espécie rica em metabólitos secundários, que possuem diversas propriedades farmacológicas já relatadas na literatura, e podendo fornecer moléculas que contribuem para o arsenal terapêutico.

O teste de toxicidade frente as larvas *Artemia salina*, revelou o extrato hexânico com DL_{50} 146,01 mg mL⁻¹, sendo considerado moderadamente tóxico, enquanto o extrato etanólico com DL_{50} 65,397 ppm considerado altamente tóxico.

Os testes de citotoxicidade pelo método MTT e larvicida frente a larvas de *Aedes aegypti* não mostraram resultados satisfatórios para ambos os extratos.

Apenas o extrato hexânico apresentou manchas brancas no teste de inibição da enzima acetilcolinesterase em CCD.

No teste de FPS o extrato hexânico apresentou comprimento de onda máximo em aproximadamente 215 nm e um fator FPS de 2,17 e o extrato etanólico comprimentos de absorção máximos em 220 e 280 nm e um fator de proteção de 6,65 ambos na concentração de 100 mg/mL.

Os resultados obtidos direcionarão para fracionamento cromatográfico do extrato hexânico devido aos resultados satisfatórios em relação ao teste de inibição da enzima acetilcolinestrase com o intuito de isolamento de metabólitos secundários função com inibitória da enzima, de forma a contribuir com estudos farmacêuticos para o desenvolvimento de novos fármacos.

REFERÊNCIAS

- AMARANTE, C. B, et al. **Estudo fitoquímico biomonitorado pelos ensaios de toxicidade frente à *Artemia salina* e de atividade antiplasmódica do caule de aninga (*Montrichardia linifera*)**. Acta Amazônica. Vol. 41(3): 431 – 434, 2011.
- BASTOS, R. G. **Caracterização fitoquímica e avaliação das atividades biológicas dos extratos obtidos das folhas de *Eugenia florida* DC (Myrtaceae)**. 2016. 180 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade Federal de Alfenas. Alfenas, MG, 2016.
- CALZAVARA, B. B. G. **Fruticultura tropical: a fruta-pão *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg**. ISSN 0101-2835, Belém, 1987.
- CHAVES, Mariana H. **Análise de extratos de plantas por CCD: uma metodologia aplicada à disciplina “Química Organica”**. Química Nova 20(5), 1997.
- COSTA, L. P de S. **Documentação química e farmacológica de espécies vegetais do cerrado e caatinga Piauiense**. Piauí, 2014.
- ELLMAN, G. L. et al. **A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity**. Biochemical Pharmacology, v. 7, n. 2, p.88-95, jul. 1961.

FREITAS, De J. B.T. **Pão de árvore: Um estudo do caso sobre a fruta pão *Artocarpus altilis* Sp no Brejo Paraíba.** 2012. 35 f. Monografia (Engenheiro em Agronomia) -, Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2012.

JACOMASSI, E. **Morfoanatomia e histoquímica de órgãos vegetativos e reprodutivos de *Brosimum gaudichaudii* trécul (Moraceae).** Tese (Doutorado em ciências Biológicas (Botânica) - Universidade estadual paulista. Botacatu- SP, 2006.

MANSUR, J. S.; BREDER, M. N. R; MANSUR, M. C. A; AZULAY, R. D. **Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria.** Anais Brasileiro de Dermatologia, v.61, p.121-124, 1986.

MATOS, F. J. de. A. **Introdução à Fitoquímica Experimental.** 3 ed. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2009.

PORTE, F. K. **Constituintes químicos da família Moraceae.** 2011. Monografia (Licenciatura em Química) - Faculdade de Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ, 2011.

RHEE, I. K. Meent, M. V; Ingkaninan, K., Verpoorte, R. J. **Chromatogr.** A. v. 915, p 217-223, 2001.

SAMPAIO, P. A. **Utilização de planejamento fatorial como estratégia para o desenvolvimento tecnológico de extratos padronizados de *Morus nigra* L.** (Mestrado em Recursos Naturais do Semiárido) - Universidade Federal do Vale do São Francisco. Petrolina 2017.

SIKARWAR, M. S, et al. **A Review on *Artocarpus altilis* (Parkinson) Fosberg (breadfruit)** Journal of Applied Pharmaceutical Science Vol. 4, pp. 091-097, 2014.

VIOLANTE, I. M. P. et al. **Avaliação in vitro da atividade fotoprotetora de extratos vegetais do cerrado de Mato Grosso.** Rev. bras. farmacogn. [online]. 2009, vol.19, n.2a, pp. 452-457.

ESTUDO FITOQUÍMICO DE *Hymenaea courbaril* E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE TRIPANOCIDA

Breno Mumic Sequeira

Universidade de Franca,
Franca – São Paulo.

Romeu Machado Rocha Neto

Universidade de Franca,
Franca – São Paulo.

Lúcio Gabriel Bocalon Flauzino

Universidade de Franca,
Franca – São Paulo.

Daniele da Silva Ferreira

Universidade de Franca,
Franca – São Paulo.

Lizandra Guidi Magalhães

Universidade de Franca,
Franca – São Paulo.

Patrícia Mendonça Pauletti

Universidade de Franca,
Franca – São Paulo.

Ana Helena Januário

Universidade de Franca,
Franca – São Paulo.

Márcio Luis Andrade e Silva

Universidade de Franca,
Franca – São Paulo.

Wilson Roberto Cunha

Universidade de Franca,
Franca – São Paulo.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo químico de extratos obtidos das cascas e polpa dos frutos de *Hymenaea courbaril*, bem como avaliar a atividade *in vitro* tripanocida destes extratos e associar essas atividades com seus constituintes isolados. A aplicação do extrato hidroalcoólico da parte interna (polpa) em placas preparativas possibilitou o isolamento de duas faixas com Rfs diferentes. A faixa com maior Rf foi codificada como PIHC-1 e a faixa com menor Rf foi codificada como PIHC-2. Através de CG-EM foi possível estabelecer a provável constituição majoritária da fração PIHC-1 sendo constituída de: 2-nonenal, Sitostenona, 10-acetoxi-1,6a,6b,9,9,12a-hexametil-2-metileno-eicosahidro-picen-4a-3il-acetato e acetato de pseudotaraxasterol. A análise dos dados obtidos dos espectros de RMN-¹H e RMN-¹³C permitiu identificar PIHC-2 como sendo o acetato do ácido betulínico. O fracionamento do extrato hidroalcoólico das cascas de *H. courbaril* possibilitou o isolamento e a identificação de dois outros constituintes químicos: ácido zanzibárico e ácido isoózico. Os resultados da avaliação da atividade tripanocida evidenciaram que o extrato da polpa de *H. courbaril* foi o mais ativo frente às formas tripomastigostas de *Trypanosoma cruzi*, apresentando uma CI_{50} de 64,4 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Com relação às substâncias isoladas, o resultado mais promissor quanto à atividade tripanocida

foi obtido pela substância PIHC-2 (acetato do ácido betulínico), apresentando IC_{50} de 15,67 μM . Assim, esta substância pode estar relacionada com a boa atividade tripanocida apresentado pelo extrato da polpa.

PALAVRAS-CHAVE: *Hymenaea courbaril*, atividade antiparasitária, *Trypanosoma cruzi*.

PHYTOCHEMICAL STUDY OF *Hymenaea courbaril* AND EVALUATION OF THE TRYPANOCIDAL ACTIVITY

ABSTRACT: The aim of this study was to conduct a chemical study of extracts of the bark and pulp of *Hymenaea courbaril*, as well as to evaluate the *in vitro* trypanocidal activities of these extracts and chemical constituents. The application of the hydroalcoholic extract in preparative plates allowed the isolation of two tracks with different Rfs. The highest Rf was coded as PIHC-1 and the track with less RF was coded as PIHC-2. By GC-MS was possible to establish the probable chemical constitution of the PIHC-1 fraction being composed of: 2-nonenal, sitostenone 10-acetoxy-1,6a, 6b, 9,9,12a-hexamethyl-2-methylene-eicosahydro-picen-4a-3-yl-acetate and pseudotaraxasterol acetate. The analysis of data obtained from 1H -NMR and ^{13}C -NMR spectra enabled the identification of PIHC-2 as acetate of the betulinic acid. Fractionation of the hydroalcoholic extract of *H. courbaril* peels allowed the isolation and identification of two other chemical constituents: zanzibaric acid and isoozic acid. The results of the trypanocidal activity showed that *H. courbaril* pulp extract was the most active against tripomastigotes forms of *Trypanosoma cruzi*, with an IC_{50} of 64.4 $\mu g mL^{-1}$. Regarding the isolated compounds, the most promising results of the trypanocidal activity was obtained by PIHC-2 (acetate of the betulinic acid), with IC_{50} of 15.67 μM . Therefore, this compound may be related to the good trypanocidal activity showed by the pulp extract.

KEYWORDS: *Hymenaea courbaril*, antiparasitic activity, *Trypanosoma cruzi*.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 Doença de chagas

As doenças negligenciadas, também chamadas de doenças tropicais negligenciadas, justamente porque são doenças tipicamente de áreas tropicais e subtropicais, é um grupo de enfermidades, muitas vezes, de acometimento endêmico, que as populações pobres dos países em desenvolvimento sofrem constantemente (MAGALHÃES et al., 2012).

Estima-se que há cerca de 1 bilhão de pessoas (1/6 da população mundial) em 149 países e regiões sofrendo de alguma doença negligenciada, principalmente localizadas nas regiões de baixo desenvolvimento econômico e social da África, Ásia e partes da América (MAGALHÃES et al., 2012).

As 17 doenças negligenciadas priorizadas de relevância, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), são: Úlcera de Burili, Doença de Chagas, Dengue,

Dracunculíase, Equinococose, Trematodíase, Doença do Sono, Leishmaniose, Hanseníase, Filariose Linfática, Oncocerose, Raiva, Esquistossomose, Helmintíases, Teníase/Cisticercose, Tracoma e Bouba.

A doença de Chagas é causada pelo parasito protozoário *Trypanosoma cruzi*, o qual é transmitido quando as fezes infectadas com *T. cruzi* do vetor *triatomíneo*, popularmente conhecido como barbeiro, bicudo, chupança, furão, dentre outros, entra na corrente sanguínea do hospedeiro mamífero através do local da picada ou através de uma membrana mucosa. A transmissão pelo vetor está basicamente limitada às áreas da América do Norte, América Central e América do Sul (BERN, 2015).

Outras vias de infecção, não vetorial, incluem a transfusão de órgãos, o transplante de medula óssea e a transmissão congênita. Alguns surtos são atribuídos à contaminação de alimentos ou bebidas (RASSI et al. 2010).

Segundo a OMS (2010), de 8 a 10 milhões de pessoas são afetadas pela doença, causando aproximadamente 14.000 mortes por ano, e ainda outros 100 milhões de indivíduos vivem em áreas de risco de contaminação.

Sem o devido tratamento, após a fase aguda, a doença de Chagas passa a uma fase crônica geralmente silenciosa. A manifestação de sintomas pode ocorrer após muitos anos, podendo se apresentar na forma de um problema grave no coração dos infectados ou no sistema digestivo, em especial alterações morfológicas e funcionais no esôfago e intestino grosso. Os sintomas na fase crônica podem incluir desmaios, palpitações, dores no peito, inchaço dos membros inferiores, constipação, dores abdominais e dificuldades para engolir (FELICIANGELI et al., 2003).

No início da década de 1970 surgiram então, o nifurtimox (Lampit®, da Bayer) e o benzonidazol (BNZ) (Rochagan®, da Roche) (Figura 1) que apresentam de 50 a 70% de cura quando administrados na fase aguda. A fase crônica da doença permanece sem alternativas eficazes de tratamento, representando grave problema que tem elevado o sofrimento de milhões de infectados na América Latina (DIAS et al., 2009).

O BNZ (N-benzil-2-nitro-1-imidazolacetamida), derivado do nitroimidazol, é considerado o tratamento de primeira linha, com uma evidência de eficácia melhor e efeitos secundários menores que o nifurtimox (BERN, 2015). No Brasil, a única substância atualmente disponível para o tratamento específico da doença de Chagas é o quimioterápico BNZ. Este fármaco apresenta uma efetividade parcial aos seus usuários e inconvenientes efeitos adversos, como dermatites alérgicas, anorexia, perda de apetite, entre outros efeitos indesejados (PONTES et al., 2010).

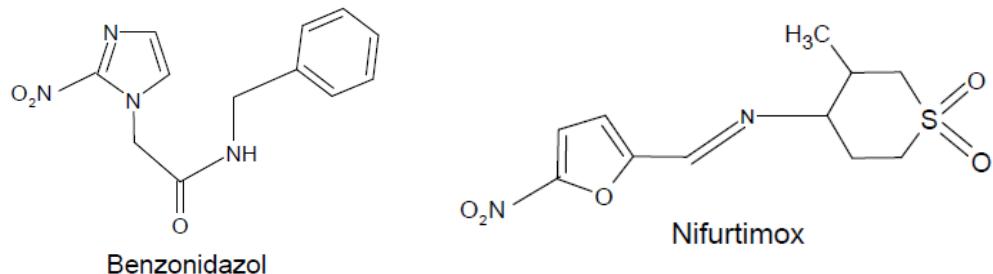


Figura 1 - Estruturas químicas do benzonidazol e do nifurtimox.

Novos fármacos, de preferência com menores efeitos adversos, são necessários para o combate do parasito, que acabam sofrendo mutações por diversos mecanismos, selecionando formas resistentes aos quimioterápicos existentes no mercado.

A utilização de produtos naturais para pesquisa e desenvolvimento de novos fármacos direcionados para o tratamento de doenças tropicais negligenciadas se torna cada vez mais usual (OLIVEIRA et al., 2014).

As plantas nos dias atuais são as principais fontes de substâncias na busca de novos medicamentos e esta linha de pesquisa baseada em produtos naturais tem sido enfatizada pela indústria farmacêutica (OLIVEIRA et al., 2010; VIEGAS-JR et al., 2006).

Tendo em vista o exposto, é importante o contínuo trabalho no isolamento, purificação e identificação de compostos ativos das plantas, para o próprio uso das moléculas identificadas ou para usá-las como modelos síntese de novos compostos. Dentre as regiões com grande potencial para obtenção de novas substâncias ativas, o cerrado brasileiro se encontra em posição de destaque e, portanto, deve ser química e farmacologicamente explorado (MONTANARI et al., 2001).

1.2 . A Espécie vegetal *Hymenaea courbaril* L.

Hymenaea courbaril L. popularmente conhecida no Brasil como Jatobá, Jatobá do Cerrado, Jataí, entre tantos outros nomes regionais, é uma árvore cujas folhas, raízes, frutos, e especialmente a casca do caule, já descritas como ricas em taninos, são tradicionalmente empregadas na medicina popular por meio de infusões e manipulações caseiras para tratamentos de várias enfermidades como: anemias, problemas renais, dores de garganta e problemas respiratórios. Há relatos do uso de partes do tronco na forma de um xarope para o tratamento de bronquite e uma infusão da casca para problemas estomacais (MARSAIOLI et al., 1975; CARTAXO et al., 2010; BEZERRA et al., 2013).

O fruto do jatobá é vagem indeiscente, de aspecto alongado, que mede 8-15 cm de comprimento. O exocarpo é lenhoso, espesso e vermelho-escuro.

O endocarpo é farináceo, adocicado e amarelo-claro, sendo comestível e podendo ser consumido na sua forma natural ou preparados na forma de farinhas,

doces e bebidas (MELO et al., 2005).

A análise química do pó amarelado doce obtido a partir dos frutos do jatobá forneceram sacarose e ácido linoléico. Alguns metabólitos secundários já foram identificados nessa espécie. Estudos demonstraram que diterpenos, xiloglucanas, galactomananas, oligossacarídeos e alguns tipos de ácidos graxos são os principais metabólitos presentes nesses vegetais (TINE et al., 2000; LIMA et al., 2003; JAYAPRAKASAM et al., 2007).

Além dos componentes polifenólicos, o que mais foi encontrado em estudos fitoquímicos a partir das vagens, da casca do caule, da resina do tronco e das cascas dos frutos de *H. courbaril*, são diterpenos e sesquiterpenos (MARSAIOLI et al., 1975; NOGUEIRA et al., 2002; JAYAPRAKASAM et al., 2007; AGUIAR et al., 2010).

Com essa diversidade química, várias atividades para extratos, frações ou compostos isolados a partir de *H. courbaril* já foram demonstrados, como: anti-câncer (KEIJI et al., 1999), ação antioxidante, propriedade anti-inflamatória (JAYAPRAKASAM et al., 2007), antiviral (CECÍLIO et al., 2012). Aguiar e colabpradores (2010) descreveram que o óleo essencial obtido a partir da casca dos frutos também possui atividade larvicida forte contra *Aedes aegypti*.

2 | OBJETIVOS

Os objetivos do presente estudo foram:

- a) Preparar extratos hidroalcoólicos brutos da casca e da parte interna (polpa farinácea) do fruto da espécie *Hymenaea courbaril* L.
- b) Avaliar as atividades biológicas *in vitro* dos extratos dos frutos de *H. courbaril* L. frente ao parasita causador da doença de Chagas.
- c) Correlacionar às atividades biológicas dos extratos obtidos de *H. courbaril* L. com a constituição química destes.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Estudo Químico

3.1.1 Obtenção, identificação da espécie vegetal e preparo dos extratos brutos de *H. courbaril*

O fruto da espécie vegetal foi coletado no mês de fevereiro do ano de 2012 em seu ambiente natural na Fazenda São Joaquim, no município de Batayporã, localizada a leste do Estado do Mato Grosso do Sul. A identificação botânica foi realizada pelo Prof. Dr. Milton Groppo da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, sendo a exsicata depositada no herbário desta

faculdade sob o código SPFR 10019.

Foram utilizados os frutos do vegetal, que separados totalizaram 2.000 gramas de casca e 1.700 gramas de polpa farinácea. Estes foram secos em estufa de ar circulante à temperatura de 40 °C. As partes do vegetal foram pulverizadas e extraídas por maceração utilizando-se uma mistura de EtOH/H₂O (96:4 v/v) a 25°C durante sete dias. Os extratos obtidos foram filtrados e concentrados em rotaevaporador, obtendo-se, após a secagem, 97,8g de extrato das cascas e 87,3g de extrato da polpa.

3.1.2 Purificação da parte interna (polpa) visando obtenção dos constituintes químicos.

O extrato da parte interna de *H. courbaril* foi preliminarmente analisado por CLAE e posteriormente uma alíquota deste foi aplicada em placas preparativas utilizando sílica gel como fase estacionária e n-hexano/acetato de etila (7:3 v/v) como fase móvel. Foi possível isolar duas faixas com Rf de diferentes. A fração de maior Rf foi codificada como PIHC-1 e a de menor Rf foi codificada como PIHC

A fração PIHC-1 foi enviada para análise através de CG-EM visando identificação do perfil químico da amostra e a fração PIHC-2 foi enviada para registro de seus espectros de RMN visando à identificação desta.

*3.1.3 Estudo do extrato da casca de *H. courbaril*.*

O fracionamento deste extrato (4,0 g) foi realizado utilizando CLV e como eluentes solventes orgânicos em gradiente crescente de polaridade. Foram coletadas 5 frações (Tabela 1).

Fração	Eluente	Volume (L)	Massa (g)
F-1	<i>n</i> -hexano/acetato de etila (1:1 v/v)	2,0	1,61
F-2	Acetato de etila	2,0	0,34
F-3	Acetato de etila/etanol (7:3 v/v)	2,0	0,57
F-4	Acetato de etila/ etanol (1:1 v/v)	2,0	0,14
F-5	Etanol	2,0	0,22

Tabela 1 - Fracionamento do extrato da casca de *H. courbaril*.

Na fração F-3, após ser rotaevaporada, formou-se um sólido de cor branca que foi separado do sobrenadante e codificado como F3A (0,12 g).

Parte da fração F-1 (0,50 g) foi aplicada em coluna de sephadex LH-20 e eluida com metanol, sendo recolhida 30 frações de 50 mL. As frações foram analisadas por CCDC e agrupadas quando apresentaram comportamento cromatográfico semelhante (Tabela 2).

Parte da fração reunida F-1B foi submetida à CLAE preparativa possibilitando o

isolamento de uma substância codificada como F-1B-3 (30 mg).

Fração	Frações agrupadas	Massa (mg)
F-1A	1-6	183
F-1B	7-8	271
F-1C	9-11	15
F-1D	12-16	3
F-1E	17-30	4

Tabela 2 - Frações reunidas e as massas obtidas no fracionamento de F-1.

3.2 Estudo Biológico

3.2.1 Avaliação *in vitro* da atividade tripanocida sobre as formas tripomastigotas

Os ensaios sobre as formas tripomastigotas foram realizados a partir de parasitas obtidos de cultura de células da linhagem LLCMK₂. As células foram cultivadas em meio RPMI, suplementado com 0,5% de penicilina e estreptomicina e 10% de soro bovino fetal inativado, em garrafas de cultura a 37°C em ambiente a 5% de CO₂, com umidade de 95%.

As formas tripomastigotas, obtidas do sangue de animais infectados por punção cardíaca no pico parasitêmico, foram adicionadas à cultura celular. Após 7 dias de cultivo, o sobrenadante das culturas foi retirado, centrifugado, sendo então obtidas as formas livres do parasita para a realização dos ensaios.

Em uma placa de microtitulação de 96 poços foram adicionados aproximadamente 2x10⁶ formas tripomastigotas, e posteriormente foram adicionadas as substâncias em análise nas concentrações de 200, 100, 50, 25, 12.5 µM para substâncias puras ou µg/mL para extratos, onde, após 24 horas de incubação a atividade biológica foi realizada através da quantificação direta dos parasitas vivos em câmara de Neubauer, levando-se em consideração a motilidade flagelar.

Os resultados obtidos foram avaliados com auxílio do software GraphPad Prism versão 5.0, visando a obtenção dos valores de IC₅₀ e porcentagem de lise para cada uma das substâncias, em relação ao controle negativo, nas concentrações avaliadas.

Como controles foram utilizados: (1) Controle positivo: Benzonidazol; (2) Controle negativo: 0,5% de DMSO. Os ensaios foram realizados em triplicata.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parte química

4.1.1 Análise por CLAE dos extratos de *H. courbaril* L.

Existem relatos de estudos de todas as partes da espécie *H. courbaril*, porém, há pouca investigação relacionada à parte interna comestível do fruto do jatobá

(JAYPRAKAKASAM et al. 2007). As Figuras 2 e 3 representam, respectivamente, os cromatogramas obtidos por CLAE dos extratos hidroalcoólicos da parte interna e das cascas dos frutos de *H. courbaril*. Verifica-se que o extrato da parte interna apresenta um perfil químico menos complexo em termos de número de substâncias do que o do extrato das cascas.

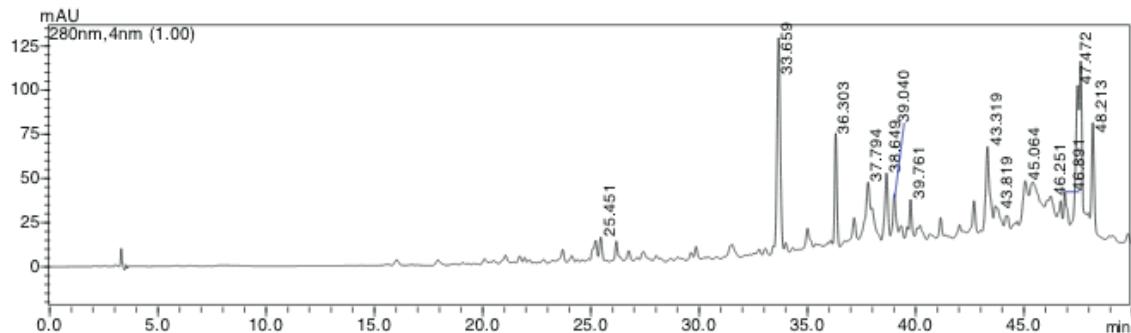


Figura 2 - Cromatograma obtido por CLAE do extrato hidroalcoólico da parte interna (polpa) de *H. courbaril*.

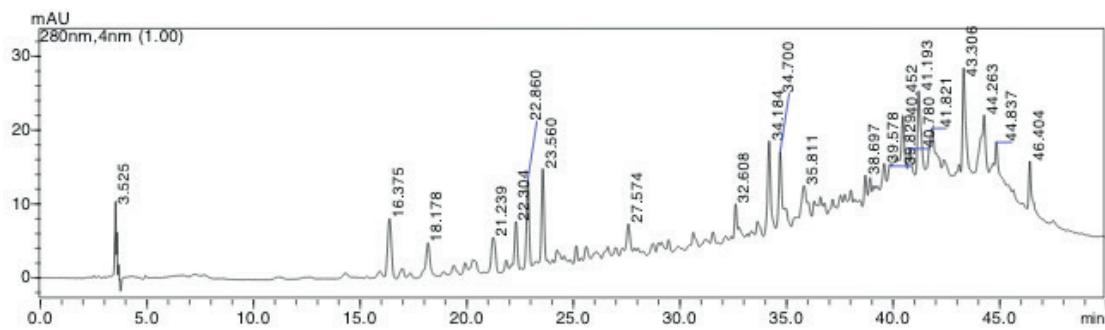


Figura 3 - Cromatograma obtido por CLAE do extrato hidroalcoólico das cascas de *H. courbaril*.

4.1.2 Resultado da análise através de CG-EM da fração PIHC-1

Através de CG-EM (Figura 4) foi possível estabelecer a provável constituição majoritária da fração PIHC-1, isolada do extrato hidroalcoólico da polpa de *H. courbaril*.

Selecionando apenas os picos com porcentagem de área acima de 10%, foi possível identificar quatro destes picos: 2-nonenal (t_R =17,75 min.; 10,99%; IS=80), Sitostenona (t_R =27,13 min.; 25,16%; IS=90), 10-acetoxi-1,6a,6b,9,9,12a-hexametyl-2-metileno-eicosahidro-picen-4a-3ilacetato (t_R =32,06 min.; 23,01%; IS=85), Acetato pseudotaraxasterol (t_R =34,84 min.; 11,99%; IS=80). Na Figura 5 estão representadas as estruturas químicas das substâncias majoritárias da fração PIHC-1. Nesse trabalho, é descrito pela primeira vez a presença da sitostenona na polpa dessa espécie.

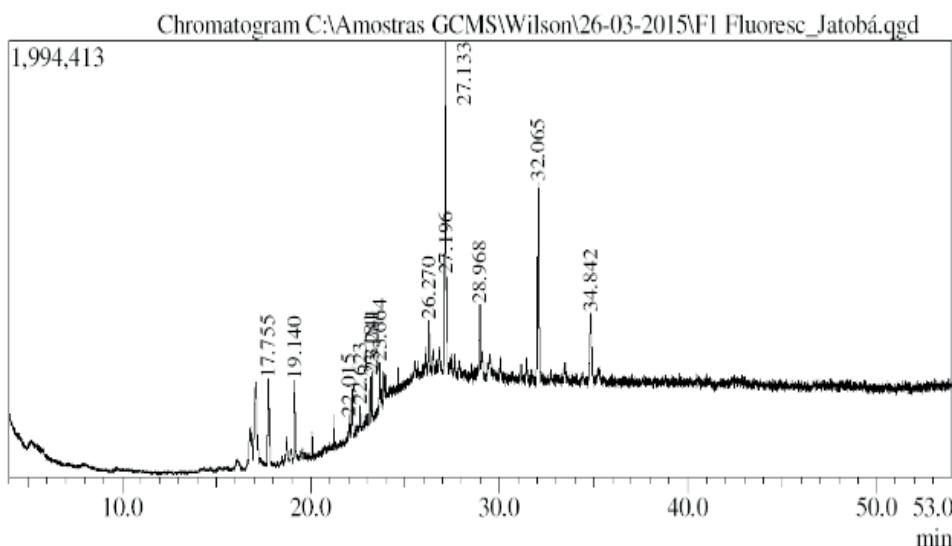


Figura 4 - Cromatograma obtido por cromatografia gasosa da fração PIHC-1.

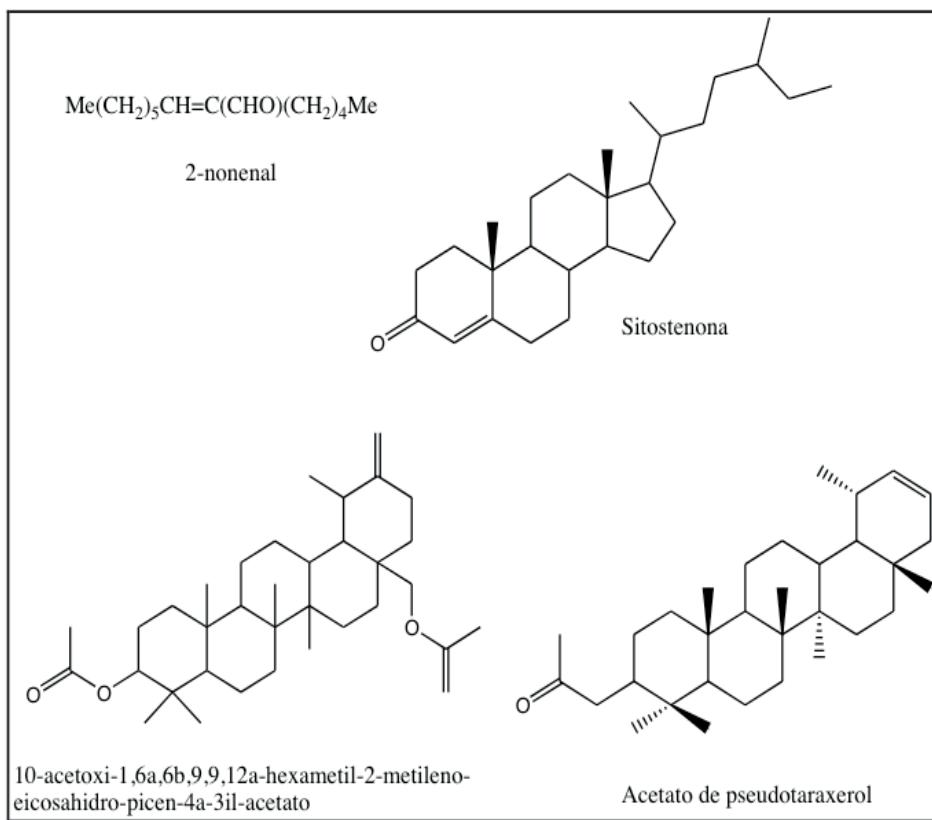


Figura 5 - Estruturas químicas das substâncias majoritárias da fração PIHC-1.

4.1.3 Identificação da fração PIHC-2

A fração PIHC-2, isolada do extrato hidroalcoólico da polpa de *H. courbaril* através de placas preparativas. A análise dos dados obtidos dos espectros de RMN-¹H e RMN-¹³C possibilitou a identificação deste como acetato do ácido betulínico, conforme Figura 6 (KUNDU *et al.*, 1989).

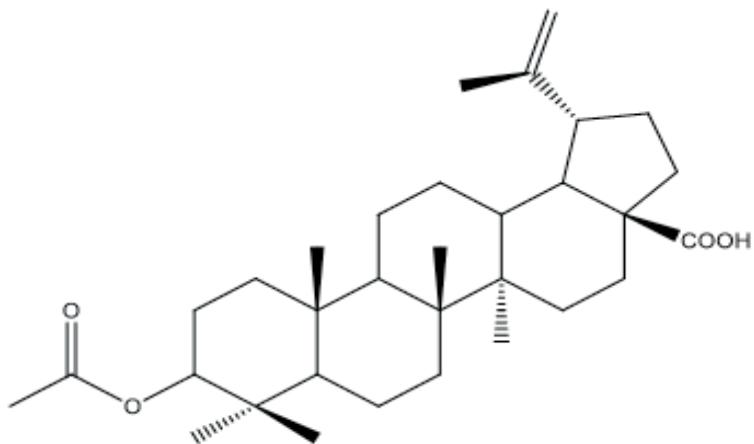


Figura 6 - Estrutura química do acetato do ácido betulínico

4.1.4 Identificação da substância F3A

A substância F3A apresenta-se como um sólido amorfo e foi isolada do extrato das cascas de *H. courbaril*. A análise dos dados obtidos dos espectros de RMN-¹H e RMN-¹³C possibilitou a identificação desta como sendo o ácido zanzibárico, Figura 7 (IMAMURA *et al.*, 2004).

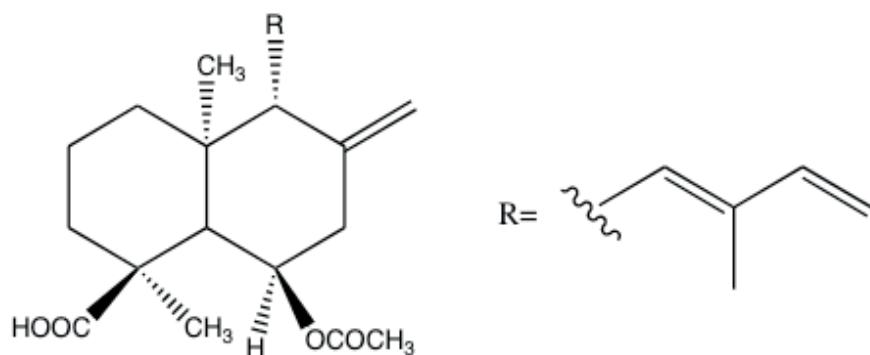


Figura 7 - Estrutura química do ácido zanzibárico.

4.1.5 Identificação da substância F-1B-3

A substância F-1B-3 foi isolada através de CLAE preparativa do extrato das cascas de *H. courbaril*. A análise dos dados obtidos dos espectros de RMN-¹H e RMN-¹³C possibilitou a identificação desta como sendo o ácido isoózico, conforme Figura 8 (KHOO *et al.*, 1973).

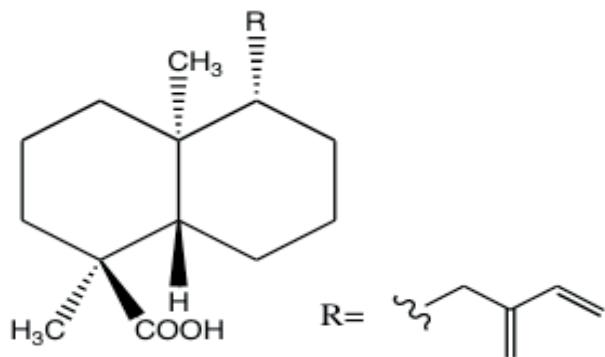


Figura 8 - Estrutura química do ácido isoózico

Os diterpenos ácido zanzibárico e ácido isoózico e o triterpeno acetato do ácido betulínico isolados das cascas dos frutos de *H. courbaril*, assim como o acetato pseudotaraxasterol e a substância 10-acetoxi-1,6a,6b,9,9,12a-hexametil-2-metileno-eicosahidro-picen-4a-3il-acetato isoladas da polpa, confirmaram a composição majoritária em terpenos encontrada no levantamento bibliográfico (JAYAPRAKASAM *et al.*, 2007).

4.2 Parte biológica

4.2.1 Resultados da avaliação *in vitro* da atividade tripanocida

Na Tabela 3 são apresentados os resultados da avaliação da atividade tripanocida *in vitro* dos extratos da casca e da parte interna (polpa) obtidos de *H. courbaril*. Os resultados evidenciam que o extrato da polpa foi o mais ativo frente às formas tripomastigostas de *T. cruzi* apresentando uma IC_{50} de 64,4 $\mu\text{g/mL}$. Ambos os extratos apresentaram efeito dose-resposta. Na literatura não se encontram relatos de estudos da atividade tripanocida da polpa e da casca do *H. courbaril*.

Amostra	% de lise \pm D.P./ concentração ($\mu\text{g/mL}$)					
	200	100	50	25	12,5	IC_{50}
Casca	61,8 \pm 3,1	42,3 \pm 3,1	30,5 \pm 5,2	28,4 \pm 3,1	18,7 \pm 5,5	126,4
Polpa	78,4 \pm 3,1	70,1 \pm 3,1	39,5 \pm 4,1	21,5 \pm 1,2	5,5 \pm 2,2	64,4

Tabela 3 - Atividade tripanocida *in vitro* dos extratos hidroalcoólicos obtidos da casca e polpa farinácea de *H. courbaril* frente à cepa Y de *Trypanosoma cruzi*. Controle Positivo: Benzonidazol ($IC_{50}=9,8 \mu\text{g/mL}$).

Na Tabela 4 são apresentados os resultados da avaliação da atividade tripanocida *in vitro* das substâncias majoritárias isoladas da *H. courbaril*. Nota-se que os melhores resultados foram obtidos para a substância PIHC-2 (acetato do ácido betulínico) isolado da polpa de *H. courbaril* ($IC_{50}=15,67$).

Amostras	% de lise ± D.P./ concentração (µM)					
	200	100	50	25	12,5	Cl ₅₀
PIHC-1	22,3±6,4	14,5±5,9	0,0±0,0	0,0±0,0	0,0±0,0	>200*
PIHC-2	88,1±6,7	78,8±5,5	81,7±5,2	69,3±7,1	62,1±2,8	15,67
F3A	68,5±2,8	73,3±1,6	41,9±1,6	34,2±2,8	22,8±2,8	54,8
F-1B-3	95,2±3,2	50,4±4,3	40,0±2,8	31,4±2,7	17,1±2,8	61,7

Tabela 4 - Atividade tripanocida *in vitro* das amostras obtidas da casca e polpa farinácea de *H. courbaril* frente à cepa Y de *Trypanosoma cruzi*. *Controle Positivo: Benzonidazol (Cl₅₀ = 9,8 µg/mL) – PIHC1 em µg/mL. Controle Positivo: Benzonidazol (Cl₅₀ = 29,4 µM) – PIHC2, F3A e F-1B-3 em µM.

Estudos anteriores com o ácido betulínico relataram uma atividade tripanocida moderada (DOMÍNGUEZ-CARMONA et al., 2010). Assim, o acetato de ácido betulínico, com uma estrutura química semelhante a do ácido betulínico, pode ter relação com a boa atividade apresentada pelo extrato da parte interna do jatobá.

5 | CONCLUSÕES

Os resultados da avaliação da atividade tripanocida evidenciam que o extrato da polpa de *H. courbaril* foi o mais ativo frente às formas tripomastigostas de *T. cruzi*. Com relação às substâncias isoladas, o resultado mais promissor quanto à atividade tripanocida foi obtido pela substância PIHC-2 (acetato do ácido betulínico). Assim, esta substância pode estar relacionada com a boa atividade apresentada pelo extrato de onde foi isolada.

REFERÊNCIAS

- BERN, C. **Chagas Disease. The new england journal of medicine**; vol. 373, p. 456-66, 2015.
- BEZERRA, G. P.; GÓIS, R. W. da S. Brito, T. S. de; LIMA, F. J. B. de; BANDEIRA, M. A. M.; ROMERO, N. R.; MAGALHÃES, P. J. C.; SANTIAGO, G. M. P. Phytochemical study guided by the myorelaxant activity of the crude extract, fractions and onstituent from stem bark of *Hymenaea courbaril* L. Journal of Ethnopharmacology. vol. 149, p. 62–69, 2013.
- CARTAXO S. L.; SOUZA M. M. A.; ALBUQUERQUE U. P. Medicinal plants with bioprospecting potential used in semi-arid Northeastern Brazil. Journal of Ethnopharmacology. vol. 131, p. 326–342, 2010.
- DIAS, L. C.; DESSOY, M. A.; SILVA, J.; SILVA, J. N.; THIEMANN, O. H.; OLIVA, G.; ANDRICOPULO, A. D. **Quimioterapia da Doença de Chagas: Estado da Arte e Perspectivas no Desenvolvimento de novos Fármacos**. Quimica Nova. vol. 32, No. 9, p. 2444-2457, 2009.
- DOMÍNGUEZ-CARMONA, D. B.; ESCALANTE-EROSA, F.; GARCÍA-SOSA, K.; G. RUIZ-PINELL, D.; GUTIERREZ-YAPU, M. J.; CHANBACAB, A.; GIMÉNEZ, T.; PEÑA-RODRÍGUEZ, L. M. “**Antiprotozoal Activity of Betulinic Acid Derivatives**,” Phytomedicine, Vol. 17, p. 379-382, 2010.
- FELICIANGELI, M. D; CAMPBELL-LENDRUM, D.; MARTINEZ, C.; GONZALEZ. D.; COLEMAN, P.; DAVIES, C. **C. disease control in Venezuela: lessons for the Andean region and beyond**. Trends in Parasitology. Vol. 19, p. 44-9, 2003.

HOTEZ, P. A New Voice for the Poor. Neglected Tropical Diseases. vol. 1, pag.1, 2007.

IMAMURA, P. M.; MIRANDA, P. C. M. L.; GIACOMINI, R. A. **A complete ^1H and ^{13}C NMR data assignment for the diterpene methyl(-)-zanzibarate by 2D spectroscopy and NOE experiments.** Magnetic Resonance in Chemistry. vol. 42, p.561-563, 2014

JAYAPRAKASAM, B.; ALEXANDER LINO, R. L.; DEWITT, D. L.; NAIR, G. Terpenoids from Stinking toe (*Hymenaea courbaril*) fruits with cyclooxygenase and lipid peroxidation inhibitory activities. Food Chemistry. vol 105, p.485-490, 2007.

KOO, S. F.; OEHLSCHLAGER, A. C., OURISSON, G. **Structure and stereochemistry of the diterpenes of *Hymenaea courbaril* (Caesalpinoideae) seed pod resin.** Tetrahedron. vol. 29, p.3379-3388, 1973.

KUNDU, A. B.; BARIK, B. R.; MONDAL, D. N.; DEY, A. K.; BANERJI, A. Zizyberanalic acid, a pentacyclic triterpenoid of *Zizyphus jujube*. Phytochemistry. vol. 28, p.3155-3158, 1989.

LIMA, D. U; OLIVEIRA, R. C; BUCKERIDGE, M. S. Seed storage hemicelluloses as wet-end additives in papermaking. *Carbohydrate Polymers*. vol. 52, p.367-373, 2003.

MAGALHÃES, J. L. de; BOECHAT, N.; ANTUNES, A. M. de S. Internalização de farmoquímicos e medicamentos para doenças tropicais negligenciadas: proposta de interação entre Governo - Universidade – Empresa. Química Nova. vol. 35, 2012.

MARSAIOLI, J. A.; FILHO, L. F. H.; CAMPELLO, P. J. Diterpenes in the Bark of *Hymenaea courbaril*. Phytochemistry; vol.14; p. 1882-1883, 1975.

MELO, G. G. A.; MENDES, S. M. A. Jatobá - *Hymenaea courbaril* L.. Informativo Técnico Rede de Sementes Amazônia. nº 9, 2005.

MONTANARI, C. A.; BOLZANI, V. S. Drug design based on natural products. Química Nova, vol. 24, p. 105-111, 2001.

NOGUEIRA, R. T.; GIACOMINI, R. A.; SHEPHERD, G. J.; IMAMURA, P. M. A new entclerodane diterpene from *Hymenaea courbaril* var. altissima. Journal of the Brazilian Chemical Society, vol.13, p.389–391, 2002.

OLIVEIRA, S. J.; MACHADO C. K.; FREITAS M. R. **Natural products applied a neglected diseases: technological forecasting.** Revista Geintec. vol. 4, p. 729-734, 2014.

PONTES, V. M. O.; SOUZA, J. A. S.; CRUZ, F. M. T.; COELHO, L. L.; DIAS, A. T. N.; COÊLHOS, I. C. B.; OLIVEIRA, M. F. **Reações adversas em pacientes com doença de Chagas tratados com benzonidazol, no Estado do Ceará.** Revista Brasileira de Medicina Tropical. v. 43, p. 182-187, 2010.

RASSI, A. JR.; RASSI, A.; MARIN-NETO. J. A. **Chagas disease.** The Lancet. vol. 375, p. 1388-1402, 2010.

TINE, M. A.; CORTELAZZO. A. L.; BUCKERIDGE. M. S. Xyloglucan mobilisation in cotyledons of developing plantlets of *Hymenaea courbaril* L. (*Leguminosae-Caesalpinoideae*). *Plant Science*. vol. 154, p.117-126, 2000.

TOLEDO, A. C. O.; HIRATA, L. L.; CRUZ, M; BUFFON, M.; MIGUEL, M. D., MIGUEL, O. G. Fitoterápicos: uma abordagem farmacotécnica. Revista Lecta. vol. 21, p. 7-13, 2003.

VIEGAS, JR. C.; BOLZANI, V. S.; BARREIRO, E. J. Os produtos naturais e a química medicinal

moderna. Química Nova, v. 29, p. 326-337, 2006.

WHO - World Health Organization. **Working to overcome the global impact of neglected tropical diseases - First WHO report on neglected tropical diseases.** WHO Press: Geneva, October, 2010.

WHO - World Health Organization. **Neglected Diseases.** Disponível em: http://www.who.int/neglected_diseases/diseases/en/. Acesso em: 19/01/2016.

ESTUDO SOBRE R&R PARA PRODUTOS DO LABORATÓRIO PILOTO DE QUÍMICA INDUSTRIAL

Karina da Silva Falcão

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa,
Paraíba.

Lígia de Oliveira Franzosi Bessa

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa,
Paraíba.

Manoel Teodoro da Silva

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa,
Paraíba.

Renata Rayane da Silva Santana

Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa,
Paraíba.

significativa entre si e averiguar pelo SM as melhorias para os métodos de R&R. O objetivo do trabalho foi analisar as fontes de variação associadas aos processos de medições na produção de detergentes do laboratório e propor melhorias destes saneantes. Para este estudo foi adaptada uma metodologia na qual mostra o caminho que deve ser prosseguido para realização de um estudo sobre R&R. Concluiu-se que é preciso fazer melhorias nas análises realizadas, os operadores ou algumas técnicas que possam ter utilizado podem afetar a medição de forma significativa.

PALAVRAS-CHAVE: Análises, medição, saneantes.

STUDY ON R & R FOR PILOT LABORATORY PRODUCTS OF INDUSTRIAL CHEMISTRY

ABSTRACT: A measurement system (SM) is formed by the set of procedures, operations, measuring instruments, computer programs in addition to people, used to contribute with quality characteristic. By means of the SM it is possible to apply the Repeatability and Reproducibility (R & R) in which evaluative parameters such as viscosity can be measured and by it determine the quality of the product. Therefore, the motivation for this work was to analyze the measurements and tests done on the selected products of the Laboratory

RESUMO: Um sistema de medição (SM) é formado pelo conjunto de procedimentos, operações, instrumentos de medição, programas computacionais além de pessoas, utilizados para contribuir com característica de qualidade. Por meio do SM é possível aplicar a Repetitividade e Reprodutibilidade (R&R) na qual se pode mensurar parâmetros avaliativos como a viscosidade e por meio dela determinar a qualidade do produto. Diante disso, a motivação para realização deste trabalho foi analisar as medições e os testes feitos nos produtos selecionados do Laboratório Piloto de Química (LAPQ) onde estudantes contribuem para a produção dos saneantes e adquirem práticas laboratoriais. Desejou-se inspecionar os detergentes fabricados no LAPQ, para saber se eles possuem uma margem de variância

of Chemistry (LAPQ) where students contribute to the production of sanitizers and acquire laboratory practices. It was desired to inspect the detergents manufactured in the LAPQ to determine if they have a significant range of variance and to ascertain by the SM the improvements to the R & R methods. The objective of this work is to analyze the sources of variation associated to the measurement processes in the detergent production of the laboratory and to propose improvements of these sanitizers. For this study a methodology was adapted in which it shows the way that should be pursued to carry out an R & R study. It is concluded that there is a need to make improvements in the analyzes performed, the operators or some techniques that may have used can affect the measurement in a significant way.

KEYWORDS: Analyzes, measurement, sanitizers.

1 | INTRODUÇÃO

Os domissanitários são substâncias ou preparações que vão desde a higienização até a odorização de ambientes domiciliares, coletivos ou públicos. Podem ser utilizados por qualquer pessoa, desde fins domésticos a profissionais, como exemplo tem-se detergentes, alvejantes, desencrustadores, etc. (RDC, 2001).

Um sistema de medição (SM) é formado pelo conjunto de procedimentos, operações, instrumentos de medição, programas computacionais além de pessoas. Utilizados para contribuir com característica de qualidade, quando se trata de um desempenho satisfatório de produtos ou processos um SM adequado e eficaz é importante. O SM sem eficácia acaba contribuindo com a redução do controle de melhorias da qualidade (MONTGOMERY, 2016).

Nas indústrias é utilizado o estudo de repetitividade e reproduzibilidade (R&R) que é um método de análise de SM. A R&R são medidas em função da dispersão dos valores medidos pelo SM. Os dois fatores são combinados e permitem o cálculo da variabilidade, assim surge o estudo sobre R&R que, além de ser um método quantitativo, possui uma abordagem estatística.

O estudo de R&R ajuda a selecionar um SM adequado para uma dada análise com base na magnitude da variação contribuída por uma dado SM. Um estudo R&R quantifica três coisas: repetitividade do medidor; reproduzibilidade e repetitividade e reproduzibilidade total do medidor (Senol, 2004; Neill, 2010; Deshpande et al., 2014; Peruchi, 2011) as well as at re-establishing a model with designed experiments, by virtue of including laboratory factor as a measurement variability factor into the Measurement System Analysis (MSA).

Tem como propósito determinar se a variabilidade do sistema de medição é menor que a variabilidade do processo monitorado (MONTGOMERY, 2016; AIAG, 2010)

Por meio do SM é possível aplicar a R&R na qual se pode mensurar parâmetros avaliativos como a viscosidade e por meio dela determinar a qualidade do produto.

Diante disso, a motivação para realização deste trabalho foi analisar as medições

e os testes feitos nos produtos selecionados do Laboratório Piloto de Química (LAPQ) que atende ao Campus 1 da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Deseja-se inspecionar os detergentes fabricados no LAPQ, para saber se eles possuem uma margem de variância significativa entre si e averiguar pelo SM as melhorias para os métodos de R&R.

A análise da R&R no SM da viscosidade de detergentes é fundamental para diagnosticar problemas no processo de fabricação, seja no operador ou no produto. Pelo sistema de medição pode-se verificar as possíveis causas e assim corrigi-las para manter o padrão de qualidade dos produtos.

A AIAG (2010) afirma que embora as causas específicas dependam da situação, algumas fontes de variação típicas podem ser identificadas. Existem diversos métodos de apresentação e categorização dessas fontes de variação, tais como: diagrama de causa e efeito, diagrama da árvore de falhas, etc. Os principais elementos de um SM genérico para garantir que os objetivos requeridos sejam atendidos são: padrão, peça, instrumento, pessoas/procedimentos e ambiente de trabalho.

O objetivo do trabalho é analisar as fontes de variação associadas aos processos de medições na produção de detergentes do laboratório e propor melhorias destes saneantes. Envolve fontes de variações como: operador, instrumento e produto analisado.

2 | METODOLOGIA

Juntamente com a forma descritiva, por se tratar da descrição e o manuseio de variáveis. Em comparação com pesquisas de campo, as de pesquisa consentem que quem pesquisa possa isolar o que se estuda podendo trabalhar com todas as variáveis que se deseja de forma que mantenha a integridade das especificações estabelecidas (KERLINGER, 2003).

Para este estudo foi adaptada à metodologia de Pereira (2016) como mostrado nas sequências que mostram o caminho que deve ser prosseguido para realização de um estudo R&R. As medidas foram analisadas através do Minitab 18, que disponibiliza gráficos para facilitar na compreensão do estudo.

As sequências a serem seguidas para facilitar a compreensão e interpretação das tomadas de decisões no estudo de caso para o SM foram:

- Decidir se o SM é aceitável, marginal ou inaceitável através do índice %R&R com IC=95%:
 - Aceitável, quando o índice %R&R for inferior a 1% e não precisará realizar novas análises;
 - Marginal, quando índice %R&R estiver entre 1% < R&R < 9% e por isso será necessário acrescentar outros gráficos para detectar problemas, como mostrado nas sequências adiante;

-Inaceitável, se o índice %R&R detectar uma porcentagem maior que 9%, tendo que passar por novas análises e assim ser melhorado.

- Pelos dados da ANOVA analisar o *p-value* das peças se < ou > 0,05:

P-value < 0,05 significa que as peças escolhidas foram diferentes e representam a amplitude do processo de fabricação, seguir e analisar o *p-value* dos operadores;

P-value das peças >0,05 será necessário fazer um novo experimento com novas peças;

- Pelos dados da ANOVA analisar o *p-value* dos operadores se < ou > 0,05:

P-value < 0,05 deve-se afirmar que existe problema de reproduzibilidade entre os operadores. Por isto, será necessário analisar o gráfico de média dos operadores. Seguir e analisar o *p-value* peça*operador;

P-value >0,05 analisa-se interação peça*operador;

- Pelos dados da ANOVA analisar o *p-value* da interação peça*operador se < ou > 0,05:

P-value <0,05 confirma-se que existem problemas de reproduzibilidade, analisa-se o gráfico de interação peça*operador, que identificará possíveis causas de variação e posteriormente analisa-se o gráfico R Chart, finalizando as análises;

P-value >0,05 analisa-se o gráfico R Chart, que identificará problemas de repetitividade, finalizando as análises.

Todas as amostras foram disponibilizadas pelo LAPQ para serem analisadas neste estudo. Foram mensuradas dez amostras de detergentes, de lotes diferentes. Cada lote foi analisado por três operadores distintos que utilizaram um viscosímetro rotativo para cada medição, seguindo sempre a mesma ordem de medição entre os operadores para que não houvesse possíveis erros.

Em cada lote, cada um dos operadores mensurou três vezes a mesma amostra. As amostras eram medidas de acordo com a disponibilidade dos lotes fabricados no LAPQ, todos os três operadores se mantiveram os mesmos, assim como a ordem da medição de cada um.

Todos os dados da pesquisa foram coletados em torno de quatro meses não consecutivos, pois o LAPQ não desenvolve saneantes em larga escala, depende dos alunos e estagiários para serem elaborados, além de serem fabricados de acordo com a necessidade do centro universitário.

Foi utilizado o método R&R, por meio dele pode ser observado se existe variabilidades no sistema de medição, se houve, pode-se descobrir pelo que ela foi causada. E, se esta variabilidade no SM é causada pelas diferenças entre operadores.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisadas dez amostras de detergentes, de lotes diferentes, cada lote

foi analisado por três operadores distintos que mensuraram as amostras com um viscosímetro rotativo

Como parâmetro de entrada tem-se os três operadores e os 10 lotes de detergentes que são as “peças” a serem analisadas e cada lote foi analisado em três replicatas por cada operador como mostra a Tabela 1.

As medidas foram analisadas através do Minitab 18 no que disponibiliza gráficos para serem interpretados e facilitar a compreensão do estudo.

Todas as amostras foram disponibilizadas pelo LAPQ para serem analisadas neste estudo, dentre os três operadores, dois eram alunos e um era a técnica responsável pelo laboratório.

Baseado nas instruções de Pereira (2016) foi feita a interpretação dos dados seguindo passo a passo as orientações mencionadas neste trabalho.

Parâmetros	Quantidade de elementos
Operadores	3
Peças	10
Réplicas	3

Tabela 1 - Parâmetros e quantidades de elementos. Fonte: Autoria própria.

Pela Tabela 2 é possível identificar que a variação do sistema de medição é 1,74% da variação total, ou seja, o SM é classificado como marginal.

Tipo	Variância	%Contribuição
Total Gage R&R	43,32	1,74
Repetitividade	1,06	0,04
Reprodutibilidade	42,26	1,70
Operadores	11,66	0,47
Peças*operadores	30,60	1,23
Variação do processo de fabricação	2439,88	98,26
Variação total	2483,20	100

Tabela 2 – Dados de %R&R. Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 3, pela ANOVA, analisou-se o *p-value* das peças que foi $0,000 < 0,05$, então as peças escolhidas foram diferentes e representam a amplitude do processo de fabricação. Com isto, deve-se seguir e analisar o *p-value* dos operadores. Em seguida, ainda na Tabela 3, a análise do *p-value* dos operadores foi de $0,022, < 0,05$ comprovando que existe problema de reproduzibilidade entre os operadores. Sendo necessário analisar o gráfico das médias dos operadores.

Tipo	DF	SS	MS	F	P
Peças/produto	9	198466	22051,8	237,501	0,000
Operador	2	885	442,7	4,768	0,022
Peça/produto * operador	18	1671	92,8	87,273	0,000
Repetitividade	60	64	1,1		
Total	89	201087			

Tabela 3 – ANOVA. Fonte: Autoria própria.

Existem problemas de reprodutibilidade entre os operadores, isso, porque o resultado do *p-value* foi 0,022. Na Figura 1, observa-se uma discrepância do operador 3 em relação aos demais.

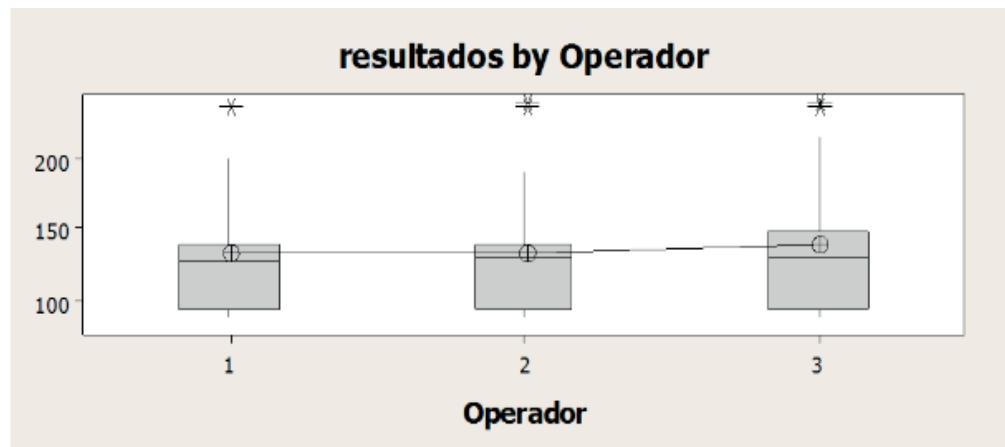


Figura 1 – Médias dos operadores. Fonte: Autoria própria.

Existem problemas de reprodutibilidade na interação peça*operador, pois o *p-value* é 0,00. Desta forma, as causas especiais de variação desse parâmetro destacam-se na Figura 2 quais sejam no operador 3 medindo as peças 2, 3 e 6.

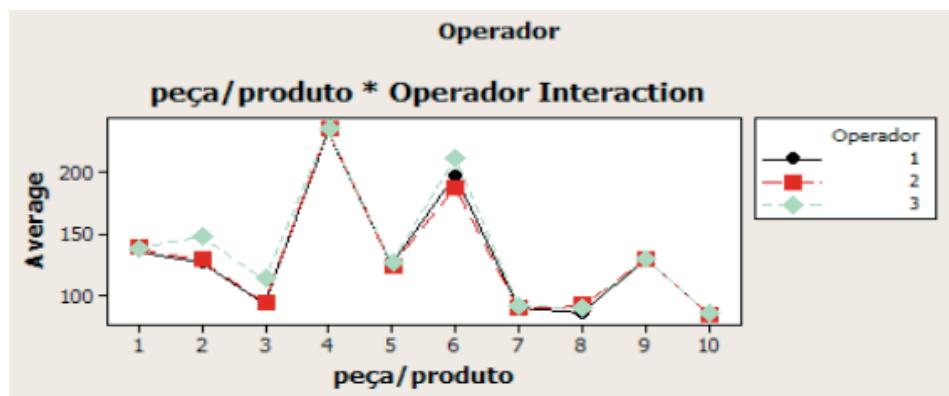


Figura 2 - Gráfico de Interação peça*operador. Fonte: Autoria própria

Analizando o R Chart na Figura 3, foram encontradas causas de variação em repetitividade, pois no operador 1 peça 1 e operador 3 peça 5 ultrapassam os limites de aceitação.

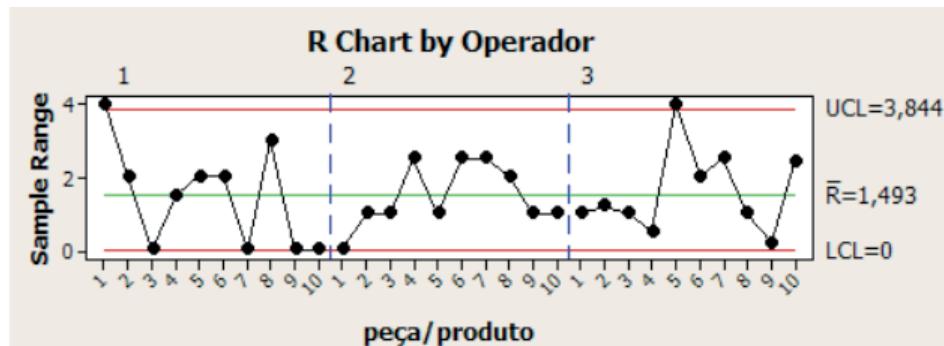


Figura 3 – Gráfico R Chart. Fonte: Autoria própria.

4 | CONCLUSÃO

Conclui-se que, pelo gráfico de interação peça*operador no qual mensura-se a reprodutibilidade do processo, demonstrou que houve problemas de reprodutibilidade no operador 3 medindo as peças 2, 3 e 6.

E no gráfico de R Chart no qual se visualiza as causas especiais de variação em repetitividade, foram encontradas tais causas, no operador 1 peça 1 e operador 3 peça 5, pois estes ultrapassam os limites superiores de aceitação.

Pelos resultados é necessário que o responsável por analisar todo o processo de medição tome algumas decisões para sua melhora e possíveis reduções dos erros sejam adotados, como treinamento dos operadores que apresentou falhas ao longo do processo ou ainda analisar se a falha pode ser em alguma peça ou no instrumento de medição, que neste estudo foi o viscosímetro, para evitar erros no equipamento pode se propor um Procedimento Operacional Padrão – POP no viscosímetro para evitar falhas na mensuração.

Os operadores ou algumas técnicas que possam ter utilizado podem afetar a medição de forma significativa como por exemplo o uso de força excessiva na medição, vícios na utilização do equipamento de mensuração, falhas que comprometem o resultado final do estudo.

REFERÊNCIAS

AIAG. 2010. **Measurement systems analysis: reference manual**. 4th ed. Detroit, MI, USA: Automotive Industry Action Group.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução – RDC nº 184, de 22 de outubro de 2001.** Dispõe sobre procedimento, totalmente eletrônico, para a notificação à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, de Produtos Saneantes de Risco I. Publicada em DOU nº 155, de 14 de agosto de 2009.

DESHPANDE, A. A. *et al.* (2014) “Applications of gage reproducibility & repeatability (GRR): Understanding and quantifying the effect of variations from different sources on a robust process development”, *Organic Process Research and Development*, 18(12), p. 1614–1621. DOI: 10.1021/op5002935.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico de qualidade**. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. p.4-5.

NEILL, B. O. (2010) “in Rockwell Hardness Testers”, (December), p. 33–35.

PEREIRA, R. B. D. **Combining Scott-Knottand GR&R methods to identify special causes of variation**. Journal of Measurement, v. 82, p. 135–144, 2016.

PERUCHI, R. S. (2011) **Método dos Componentes Principais Ponderados Aplicado em Avaliação de Sistemas de Medição com Grandezas Correlacionadas**. 2011. 94f. Dissertação (Ciências Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG.

SENOL, S. (2004) “**Measurement system analysis using designed experiments with minimum α - β risks and n** ”, *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 36(2), pp. 131–141. DOI: 10.1016/ Journal of Measurement. 2004.

CAPÍTULO 12

SÍNTESE ORGÂNICA, INORGÂNICA E DE NANOMATERIAIS ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS: UMA MINI REVISÃO

Jorddy Neves Cruz

Laboratório Adolpho Ducke, Museu Paraense
Emilio Goeldi,
Belém - Pará.

Sebastião Gomes Silva

Laboratório Adolpho Ducke, Museu Paraense
Emilio Goeldi,
Belém - Pará.

Fernanda Wariss Figueiredo Bezerra

Programa de Pós-graduação de Ciencias e
Tecnologias de Alimentos,
Universidade Federal do Pará,
Belém - Pará.

Oberdan Oliveira Ferreira

Laboratório Adolpho Ducke, Museu Paraense
Emilio Goeldi,
Belém - Pará.

Jose de Arimateia Rodrigues do Rego

Departamento de Ciencias Naturais, Universidade
do Estado do Pará,
Belém - Pará.

Marcos Enê Chaves Oliveira

Laboratório de Agro-indústria, Embrapa Amazônia
Oriental,
Belém - Pará.

Daniel Santiago Pereira

Laboratório de Agro-indústria, Embrapa Amazônia
Oriental,
Belém - Pará.

Antonio Pedro da Silva Souza Filho

Laboratório de Agro-indústria, Embrapa Amazônia

Oriental,

Belém - Pará.

Eloisa Helena de Aguiar Andrade

Laboratório Adolpho Ducke, Museu Paraense
Emilio Goeldi,
Belém - Pará.

Mozaniel Santana de Oliveira

Laboratório Adolpho Ducke, Museu Paraense
Emilio Goeldi,
Belém - Pará.

RESUMO: Atualmente as reações químicas assistidas por micro-ondas são bem populares nas práticas de laboratório. Em nosso review iremos abordar seu processo histórico enfatizando seu crescente uso até os dias atuais e sua importância na área de química verde, além de relatar as controvérsias sobre o uso dessa tecnologia. Discutimos sobre os mais recentes avanços na aplicação de irradiação por micro-ondas em processos de síntese de compostos orgânicos e inorgânicos, polímeros e nano materiais e, também, suas vantagens sobre as tradicionais técnicas de síntese.

PALAVRAS-CHAVE: micro-ondas, avanços, síntese, química verde.

ABSTRACT: Currently microwave assisted chemical reactions are very popular in laboratory practices. In our review we will address its historical process emphasizing its increasing use to the present day and its importance in the field of green chemistry, in addition to reporting the controversies about the use of this technology. We discuss the latest advances in the application of microwave irradiation in the synthesis processes of organic and inorganic compounds, polymers and nano materials and also their advantages over traditional synthesis techniques.

KEYWORDS: Microwave, advances, synthetic, green chemistry.

1 | INTRODUÇÃO

A síntese de compostos químicos foi impactada com o uso da irradiação de micro-ondas. Inicialmente, essa tecnologia foi utilizada em processos nas indústrias de alimentos e de polímeros, mas Gedye e Guiguere a partir da década de 80, de maneira pioneira, utilizaram a tecnologia de micro-ondas para a síntese de compostos orgânicos (GEDYE et al., 1986; GIGUERE et al., 1986).

As reações executadas sob irradiação por micro-ondas apresentam uma valiosa alternativa na produção de compostos orgânicos, inorgânicos, polímeros e nano materiais de forma seletiva e com rendimentos satisfatórios comparado aos resultados obtidos com aquecimento convencional (MONIKA GABA, 2011).

O uso da irradiação por micro-ondas permite que reações que envolvam a síntese orgânica apresente rendimentos similares ou maiores que aqueles gerados em processos convencionais. A possibilidade de controle seletivo de alta precisão relacionados a evolução da temperatura de incidência na amostra, bem como o controle da pressão durante o processo de aquecimento tem gerado novas perspectivas na geração de materiais em escalas macro, micro e até manométricas (GAWANDE et al., 2014).

Como vantagem a aplicação da tecnologia de aquecimento por micro-ondas apresenta aumento na velocidade de reação e redução de formação de produtos colaterais, isso ocorre em função dos mecanismos de polarização dipolar e condução iônica. Os dipolos ou íons presentes na mistura reacional alinharam-se ao campo elétrico aplicado, com tendência a realinhar ao campo elétrico oscilante e neste processo perdem energia sob a forma de calor, devido os choques moleculares e perdas dielétricas (KAPPE, 2013).

Neste sentido, os fenômenos térmicos gerados por micro-ondas em espaços de tempo pequenos são capazes de alcançar elevadas temperaturas (BÉLANGER et al., 2007). Em ambientes fechados, podem gerar resultados que possibilitam explicar inclusive efeitos não-térmicos, que não seria possível observar em sistemas

convencionais, por causa da falta de uniformidade na distribuição do aquecimento usando sistemas de controle de temperatura e potência (AYMERICH et al., 2008; GAWANDE et al., 2014).

Os efeitos da incidência de micro-ondas sobre materiais de origem orgânica dependem da duração do tempo de exposição e das frequências usadas (TAHER e FARID, 2001). Esse processo está diretamente ligado ao efeito térmico gerado por micro-ondas, ou seja, a capacidade de um produto alimentar para aquecer, que corresponde ao limite do material para converter energia eletromagnética em energia térmica, conhecido como coeficiente de perda dielétrica (BANIK et a., 2003).

No campo da aplicação de micro-ondas, uma das linhas de frente das pesquisas acadêmicas envolvem processos de síntese orgânica, por se tratar de um processo alternativo para a introdução de energia no sistema reativo, em função da excitação de agentes químicos pela energia eletromagnética, transformando vibração em calor, em processos assistidos, rápidos e limpos, sendo considerados processos tecnológicos inovadores (AND e KAPPE, 2007; MATS LARHED et al., 2002).

O uso de micro-ondas no processo de síntese envolve radiações em uma faixa do espectro eletromagnético entre as ondas de rádio e as ondas infravermelhas, com comprimento de onda entre 0,01 e 1 metro, operando em uma faixa de frequência entre 0,3 e 30 Ghz, a frequência de 2,45 Ghz é a preferida para os processos de síntese, em função da profundidade de penetração (GEDYE et al., 1988; RODRIGUEZ e TADDEI, 2006).

2 | SÍNTSESE ASSISTIDA POR MICROONDAS

2.1 Síntese de polímeros assistida por micro-ondas

A polimerização por irradiação de micro-ondas tem sido utilizada como um método alternativo de aquecimento, devido ao relato de maiores e mais rápidas taxas de conversão de monômeros em polímeros durante a reação (BARDTS et al., [s.d.]). As radiações de micro-ondas excitam seletivamente apenas as ligações polares, ocasionando na clivagem e induzindo à formação de sítios de radicais livres, desta forma, o esqueleto do polímero ('C–C'), relativamente apolar, não é afetado pela radiação (SINNWELL e RITTER, 2007).

A síntese pode ser classificada em dois tipos: **i.** síntese iniciada por micro-ondas, que utiliza apenas a radiação para iniciar o grafting; e **ii.** síntese assistida por micro-ondas, que utiliza a radiação de micro-ondas em conjunto com um iniciador de radical livre químico para iniciar o enxerto (SIVALINGAM et al., 2004). A técnica também se apresenta como uma alternativa aos métodos convencionais que utilizam solventes orgânicos e apresentam problemas viscosidade do estado de fusão durante a síntese dos polímeros, além de ser um método mais ecológico, pois substituintes solventes orgânicos tóxicos e voláteis (BARDTS et al., 2008).

Mishra et al. (2012) utilizaram microwave radiação na síntese de ácido poliacrílico carboximetil enxertado celulose, o uso da tecnologia permitiu a obtenção de um floculante com aplicação para clarificação de águas fluviais, visando o aumento de sua capacidade.

Rani et al. (2012) realizaram a síntese de poliacrilamida enxertada goma ghatti pelo método assistido por micro-ondas, o polissacarídeo enxertado resultado satisfatório na redução de sólido total dissolvido, metais pesados e demanda química de oxigênio de efluentes.

No estudo de Undri et al. (2014) a polimerização de poliestireno residual foi realizada objetivando a produção de estireno e outros aromáticos através de pirólise assistida por micro-ondas, os resultados apresentaram uma alta conversão de estireno demonstrando que a tecnologia pode ser aplicada como alternativa à redução de resíduos de PS, produzindo produtos químicos valiosos e evitando a poluição devido a resíduos de plástico.

Mahto et al. (2014) realizaram a síntese de peptona de soja enxertada com poliacrilamida (PAM) pelo método assistido por micro-ondas utilizando nitrato de amónio célico como iniciador radical livre, o produto obtido pode ser aplicado como adesivo solúvel em água, e após otimização resultou em uma força de adesão de 330 kg (ponto de ruptura de tensão de cisalhamento) entre blocos de madeira unidos.

Xiong et al. (2010) estudaram a polimerização em miniemulssão de copolímero de copolímero de fluoroacrilato por irradiação de micro-ondas, o trabalho obteve látex com características superiores ao obtido por métodos convencionais, com menor diâmetro de partícula, mais monodispersa, boa estabilidade centrífuga, e o processo também apresentou maior taxa de reação e maior conversão.

2.2 Síntese de nano materiais assistida por micro-ondas

A síntese de nano partículas assistida por micro-ondas vem sendo estudada por ser considerado um método promissor para a elaboração de um material com formato e tamanho controlado, com maior grau de pureza, em maior rendimento, além de ser mais simples, rápido, e energeticamente mais econômico (LI et al., 2011; SUIB et al., 2010).

Rotas utilizando micro-ondas têm sido aplicadas na síntese de nano partículas e nanoestruturas mono- e bi metálicas como Au, Ag, Pd, Pt, Cu, In e suas combinações em solução (BILECKA e NIEDERBERGER, 2010). O método baseia-se no: mecanismo dipolar, onde moléculas polares liberam calor para impulsionar a reação ocasionada pela aplicação de um campo elétrico de alta frequência; no mecanismo condutor, em que a polarização ocorre devido à amostra irradiada ser um condutor elétrico e os portadores de carga (íons e elétrons) se moverem através do material sob influência do campo elétrico; nas correntes induzidas e também na resistência elétrica que, em conjunto, provocam o aquecimento na amostra (NADAGOUDA et al., 2011; QIU et al., 2012).

Li et al. (2011) sintetizaram nanoestruturas de fosfato de bismuto (BiPO_4) através do método rápido de irradiação de micro-ondas, como nano partículas apresentaram morfologia e tamanho satisfatórios para seus desempenhos photocatalíticos podendo ser aplicadas na catálise, detecção de íons e separação de elementos radioativos.

Opembe et al. (2010) realizaram a síntese tipo de criptomelano K-OMS-2 nano materiais pelo método de micro-ondas de fluxo contínuo, o material apresentou 100% de seletividade na oxidação de 2,3,6-benzoquinona-trimetil, muito usado como intermediário na síntese de vitamina E.

Qiu et al. (2012) estudaram a síntese de nano materiais de óxido de cobre por reações hidrotermais assistidas por micro-ondas. O material sintetizado obteve excelente desempenho catalítico e eletroquímico para a epoxidação de alcenos, a oxidação do CO e o comportamento da pseudocapacitância em solução de hidróxido de potássio.

No estudo de Kim et al. (2017), ZnO / nano compósitos de grafeno foram preparados e subsequentemente pós-tratados por irradiação de micro-ondas, o estudo demonstrou que o material obtido apresentou propriedade seletiva na detecção de NO_2 , um gás altamente tóxico que necessita ser detectado em baixas concentrações.

2.3 Micro-ondas na síntese de compostos orgânicos e inorgânicos

A utilização do forno de micro-ondas é largamente utilizada nas residências domésticas para aquecimento de alimentos, devido sua eficiência e rapidez no preparo. Sua utilização vem crescendo gradativamente desde a década de 70 no preparo de amostras para análise elementar e também na síntese de compostos orgânicos e inorgânicos (LOUPY, 2004).

As reações que utilizam as micro-ondas ocorrem de maneira mais rápida, com isso há um de tempo e economia na produção de produtos em larga escala. O aquecimento em micro-ondas pode possibilitar ganhos de maior rendimento e maiores seletividade da substância em relação ao aquecimento convencional. Com isso tem crescido bastante o uso desta técnica nas práticas de síntese de compostos orgânicos e inorgânicos na busca de um maior rendimento com menor tempo possível e com alto de pureza do composto (MOHSENZADEH et al., 2007; VIVEK POLSHETTIWAR, 2010).

O mecanismo de aquecimento pelas micro-ondas ocorre de maneira diferente do convencional (condução, irradiação e convecção). No aquecimento convencional, o recipiente e todo o material contido sofre aquecimento, resultando em um gradiente de temperatura do meio mais aquecido para o menos aquecido. O aquecimento por micro-ondas ocorre de forma contrária ao convencional, decorrente do mecanismo de aquecimento que envolve a rotação de dipolo e condução iônica (KAPPE, 2004).

2.4 Síntese orgânica com a utilização do forno de micro-ondas

Mesmo envolvendo alto risco na realização das reações sem o controle de pressão e temperatura, diversos trabalhos foram devolvidos com síntese orgânica utilizando o micro-ondas doméstico. Tendo em vista alguns fatores que contribuem para realização dos procedimentos como a diminuição do tempo reacional e redução na formação de subprodutos que podem contribuir para o ganho de um rendimento (GAWANDE et al., 2014).

Atualmente busca-se o uso dos princípios da química verde com a redução de solventes em práticas reacionais e técnicas que favoreçam ganhos para o meio ambiente sem afetar ou prejudicar a natureza. Como exemplo de técnica podemos citar o uso das reações assistidas por micro-ondas em síntese de compostos orgânicos. Essas práticas geram ganhos para ambas as áreas tanto para ciência quanto para a sociedade (SHAH e MOHANRAJ, 2014).

A Aplicação da irradiação de micro-ondas leva a muitas vantagens, como o uso de reagentes não-corrosivos e de baixo custo, além disso, é o uso da “química verde” com redução dos impactos econômicos e ambientais. O papel da química é essencial para garantir que a nossa próxima geração de produtos químicos, materiais e energia seja mais sustentável do que a gerações passada e a atual (JOSEPH e MATHEW, 2015).

Vale ressaltar que a aplicação de síntese assistida por micro ondas para obter compostos com princípios farmacológicos vem ganhando destaque no mercado devido as vantagens que a técnica proporciona, no qual busca-se um material com ganho de rendimento e pureza (SHAH e MOHANRAJ, 2014).

A reação assistida de micro-ondas é bastante utilizada na formação de compostos que demandam maior quantidade na produção, como exemplo podemos citar o glicerol que é utilizado na produção de diesel que está em crescimento acentuado. Além disso, ele é um composto utilizado em diversas áreas, tais como as indústrias alimentícia, cosméticos, farmacêutica, tabaco, podendo ainda ser usado como fonte carbono em aplicações biotecnológicas, lubrificante e aditivo combustível (CAMPOS et al., 2017).

Muitas reações orgânicas ocorrem de maneira mais rápida e com rendimentos mais elevados, sob irradiação com micro-ondas quando comparada com o aquecimento convencional, por isso que a técnica é largamente utilizada na síntese de medicamentos, além disso, essa técnica proporciona a utilização de pouco solvente garantindo assim, a aplicação da sustentabilidade da química verde.

Como exemplo da aplicação da síntese em medicamentos temos a síntese do benzimidazol. Isto porque os benzimidazóis e seus derivados têm uma ampla gama de aplicações na medicina. Observações recentes sugerem que benzimidazóis e seus derivados possuem extensa gama de atividades biológicas, incluindo antiviral, antifúngica, antimicrobiana, antiprotozoário, anti-inflamatório, anticancerígeno, antioxidante, atividades anticoagulante, antidiabética e anti-hipertensiva (BUI et al.,

2.5 Síntese inorgânica com a utilização do forno de micro-ondas

As estruturas metal-orgânicas (MOFs) são uma classe de materiais porosos montados por coordenação de ligantes orgânicos a íons metálicos ou aglomerados. MOFs são intensamente investigados devido às suas possíveis aplicações na sorção e separação de gases, catálise, administração de drogas e detecção.

Com isso a síntese inorgânica de compostos de coordenação tem mostrado um avanço em seus estudos apresentados, pois utiliza reações assistidas por micro-ondas que contribui para resultados e aplicações diversas para produção de compostos que demandam procedimentos rápidos com boa qualidade e redução de resíduos (VAKILI et al., 2018) BenAc and hydrochloric acid, HCl.

Nas últimas duas décadas, o uso de micro-ondas, como energia para aquecer reações químicas, atraiu uma considerável atenção devido às suas muitas aplicações bem-sucedidas na síntese de polímeros, ciências dos materiais, nanotecnologia e processos bioquímicos. A motivação para o uso de energia de micro-ondas tem sido principalmente para projetar métodos de síntese mais rápidos, mais limpos e economicamente mais viáveis (MOUSAVI-KAMAZANI et al., 2014).

A aplicação de reação assistida de micro-ondas em síntese de compostos inorgânicos podemos citar como exemplo a síntese de nano compósitos, o qual tem atraído inúmeros cientistas a estudar devido suas propriedades e aplicações tecnológicas tais como: sensor de gás, células foto eletroquímicas para produção de hidrogênio sob luz solar simulada e fabricação de dispositivos eletrônicos (MOUSAVI-KAMAZANI e SALAVATI-NIASARI, 2014).

A literatura apresenta vários métodos de síntese de materiais nanométricos, dentre eles destaca-se o hidrotermal assistido por microondas. Considerando a evolução na tecnologia de hidrotermal convencional, esse método possui vantagens, como a redução de tempo e temperatura de síntese, economia energética, não liberação de gases tóxicos para o ambiente, entre outras características que o tornam uma boa alternativa entre os métodos de síntese de materiais (MONIKA GABA, 2011).

REFERÊNCIAS

AND, D. D.; KAPPE, C. O. **Microwave-Assisted Synthesis in Water as Solvent**. 2007.

AYMERICH, T.; PICOUET, P. A.; MONFORT, J. M. **Decontamination technologies for meat products**. Meat Science, v. 78, n. 1–2, p. 114–129, 1 jan. 2008.

BANIK, S.; BANDYOPADHYAY, S.; GANGULY, S. **Bioeffects of microwave - a brief review**. Bioresource Technology, v. 87, n. 2, p. 155–159, 1 abr. 2003.

BARDTS, M.; GONSIOR, N.; RITTER, H. **Trends in Polymer Science Polymer Synthesis and Modification by Use of Microwaves**. [s.d.].

BARDTS, M.; GONSIOR, N.; RITTER, H. **Polymer Synthesis and Modification by Use of Microwaves**. *Macromolecular Chemistry and Physics*, v. 209, n. 1, p. 25–31, 4 jan. 2008.

BÉLANGER, J. M. R. et al. **Remarks on Various Applications of Microwave Energy**. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, v. 42, n. 4, p. 24–44, 9 jan. 2007.

BILECKA, I.; NIEDERBERGER, M. **Microwave chemistry for inorganic nanomaterials synthesis**. *Nanoscale*, v. 2, n. 8, p. 1358–1374, 2010.

BUI, H. T. B. et al. **Microwave assisted synthesis and cytotoxic activity evaluations of new benzimidazole derivatives**. *Tetrahedron Letters*, v. 57, n. 8, p. 887–891, 24 fev. 2016.

D.MAHTO et al. **Microwave assisted synthesis of polyacrylamide grafted soya peptone and its application as water soluble adhesive**. *Industrial Crops and Products*, v. 58, p. 251–258, 2014.

DA C. CAMPOS, D.; A. dos SANTOS, J. C.; P. BORGES, L. E. **Glycerochemistry Topics: Use of Glycerol as a Green Solvent in Microwave-assisted Reactions**. *Revista Virtual de Química*, v. 9, n. 6, p. 2593–2624, 2017.

GAWANDE, M. B. et al. **Microwave-Assisted Chemistry: Synthetic Applications for Rapid Assembly of Nanomaterials and Organics**. *Accounts of Chemical Research*, v. 47, n. 4, p. 1338–1348, 15 abr. 2014.

GEDYE, R. et al. **The use of microwave ovens for rapid organic synthesis**. *Tetrahedron Letters*, v. 27, n. 3, p. 279–282, 1 jan. 1986.

GEDYE, R. N.; SMITH, F. E.; WESTAWAY, K. C. **The rapid synthesis of organic compounds in microwave ovens**. *Canadian Journal of Chemistry*, v. 66, n. 1, p. 17–26, jan. 1988.

GIGUERE, R. J. et al. **Application of commercial microwave ovens to organic synthesis**. *Tetrahedron Letters*, v. 27, n. 41, p. 4945–4948, 1 jan. 1986.

JOSEPH, S.; MATHEW, B. **Microwave-assisted green synthesis of silver nanoparticles and the study on catalytic activity in the degradation of dyes**. *Journal of Molecular Liquids*, v. 204, p. 184–191, 1 abr. 2015.

KAPPE, C. O. **Synthetic Methods Controlled Microwave Heating in Modern Organic Synthesis**. *Angew. Chem. Int. Ed*, v. 43, p. 6250–6284, 2004.

KAPPE, C. O. **How to measure reaction temperature in microwave-heated transformations**. *Chemical Society Reviews*, v. 42, n. 12, p. 4977, 28 maio 2013.

KIM, H. W. et al. **Synthesis of zinc oxide semiconductors-graphene nanocomposites by microwave irradiation for application to gas sensors**. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, v. 249, p. 590–601, 2017.

LI, G. et al. **Microwave synthesis of BiPO₄ nanostructures and their morphology-dependent photocatalytic performances**. *Journal of Colloid and Interface Science*, v. 363, n. 2, p. 497–503, 2011.

LOUPY, A. **Solvent-free microwave organic synthesis as an efficient procedure for green chemistry**. *Comptes Rendus Chimie*, v. 7, n. 2, p. 103–112, 1 fev. 2004.

MATS LARHED, *,†; CHRISTINA MOBERG, ‡ AND; HALLBERG†, A. **Microwave-Accelerated Homogeneous Catalysis in Organic Chemistry**. 2002.

MISHRA, S.; USHA RANI, G.; SEN, G. **Microwave initiated synthesis and application of polyacrylic acid grafted carboxymethyl cellulose**. *Carbohydrate Polymers*, v. 87, n. 3, p. 2255–

MOHSENZADEH, F.; AGHAPOOR, K.; DARABI, H. R. **Benign approaches for the microwave-assisted synthesis of quinoxalines.** Journal of the Brazilian Chemical Society, v. 18, n. 2, p. 297–303, abr. 2007.

MONIKA GABA, N. D. **Microwave Chemistry: General Features and Applications.** Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research, v. 45, n. 2, p. 175–183, 2011.

MOUSAVI-KAMAZANI, M.; SALAVATI-NIASARI, M. **A simple microwave approach for synthesis and characterization of Ag₂S–AgInS₂ nanocomposites.** Composites Part B: Engineering, v. 56, p. 490–496, 1 jan. 2014.

NADAGOUDA, M. N.; SPETH, T. F.; VARMA, R. S. **Microwave-assisted green synthesis of silver nanostructures.** Accounts of Chemical Research, v. 44, n. 7, p. 469–478, 2011.

QIU, G. et al. **Facile microwave-assisted hydrothermal synthesis of CuO nanomaterials and their catalytic and electrochemical properties.** Journal of Physical Chemistry C, v. 116, n. 1, p. 468–477, 2012.

RANI, P. et al. **Microwave assisted synthesis of polyacrylamide grafted gum ghatti and its application as flocculant.** Carbohydrate Polymers, v. 89, n. 1, p. 275–281, 2012.

RODRIQUEZ, M.; TADDEI, M. **Synthesis of Heterocycles via Microwave-Assisted Cycloadditions and Cyclocondensations.** In: [s.l.] Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. p. 213–266.

SHAH, J. J.; MOHANRAJ, K. **Comparison of Conventional and Microwave-assisted Synthesis of Benzotriazole Derivatives.** Indian journal of pharmaceutical sciences, v. 76, n. 1, p. 46–53, jan. 2014.

SINNWELL, S.; RITTER, H. **Recent Advances in Microwave-Assisted Polymer Synthesis.** Aust. J. Chem, v. 60, p. 729–743, 2007.

SIVALINGAM, G.; AGARWAL, N.; MADRAS, G. **Kinetics of microwave-assisted polymerization of ϵ -caprolactone.** Journal of Applied Polymer Science, v. 91, n. 3, p. 1450–1456, 5 fev. 2004.

SUIB, S. L. et al. **Microwave-Assisted Synthesis of Manganese Oxide Octahedral Molecular Sieve (OMS-2) Nanomaterials under Continuous Flow Conditions.** Journal of Physical Chemistry C, v. 114, n. 34, p. 14417–14426, 2010.

TAHER, B. J.; FARID, M. M. **Cyclic microwave thawing of frozen meat: experimental and theoretical investigation.** Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, v. 40, n. 4, p. 379–389, 1 jul. 2001.

UNDRI, A. et al. **Reverse polymerization of waste polystyrene through microwave assisted pyrolysis.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 105, p. 35–42, 2014.

VAKILI, R. et al. **Microwave-assisted synthesis of zirconium-based metal organic frameworks (MOFs): Optimization and gas adsorption.** Microporous and Mesoporous Materials, v. 260, p. 45–53, 1 abr. 2018.

VIVEK POLSHETTIWAR, R. S. V. **Aqueous Microwave Assisted Chemistry.** [s.l]: s.n.].

XIONG, S. et al. **Preparation and characterization of fluorinated acrylate copolymer latexes by miniemulsion polymerization under microwave irradiation.** Journal of Fluorine Chemistry, v. 131, n. 3, p. 417–425, 2010.

PROJETO DE RECUPERAÇÃO, REUSO E RESTAURAÇÃO DE ÁREA DEGRADADA POR MINERAÇÃO DE AGREGADOS PARA PAVIMENTAÇÃO NO MUNICÍPIO DE MORRO REDONDO/RS

Thiago Feijó Bom

Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Pelotas – RS.

Pedro Andrade Coelho

Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Pelotas – RS.

Matheus Acosta Flores

Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Pelotas – RS.

Angélica Cirolini

Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Pelotas – RS.

Alexandre Felipe Bruch

Universidade Federal de Pelotas, Centro de Engenharias, Pelotas – RS.

Marciano Carneiro

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, PPG em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais, Porto Alegre – RS.

ao longo deste trabalho, serão apresentadas quatro propostas para adequar à antiga pedreira do DNER as normas ambientais vigentes no país. A área de estudo está localizada na região nordeste do município de Morro Redondo-RS, no limite com o município de Pelotas-RS. A área da pedreira foi abandonada após o término da exploração de agregados minerais, portanto se encontrando em desconformidade com a legislação. Para o desenvolvimento desta pesquisa foram realizados trabalhos de campo para o reconhecimento da área e um aerolevantamento com Veículo Aéreo Não Tripulado, no intuito de realizar o mapeamento planialtimétrico da pedreira. Os dados do aerolevantamento foram processados em programa fotogramétrico e exportados para um sistema de informações geográficas para a confecção dos mapas propostos para cada projeto. Sendo assim, foi apresentada uma proposta de restauração da área, uma proposta de recuperação e duas propostas de reuso local. Através deste estudo é pretendido corrigir ou minimizar os efeitos colaterais resultantes da atividade exploratória na pedreira, trazendo novamente o equilíbrio ambiental para área ou um retorno em forma de lazer ou até mesmo financeiro para comunidade do entorno da antiga mineração de agregados minerais para pavimentação.

PALAVRAS-CHAVE:

Recuperação,

RESUMO: Os impactos ambientais em áreas de mineração são amplamente conhecidos na literatura, sendo que as maiores preocupações estão relacionadas com o empreendimento pós-encerramento das atividades. Nesse sentido,

ABSTRACT: Environmental impacts in mining areas are widely known in the literature, with the main concerns related to the post-closure business. In this sense, throughout this work, four proposals will be presented to adapt the old DNER quarry to the current environmental standards in the country. The study area is located in the northeast region of the municipality of Morro Redondo-RS, at the border with the municipality of Pelotas-RS. The area of the quarry was abandoned after the end of the exploitation of mineral aggregates, therefore being in disagreement with the legislation. For the development of this research fieldwork for the reconnaissance of the area was carried out and an aero-survey with Unmanned Aerial Vehicle, I am looking to carry out the planialtimetric mapping of the quarry. The aerial survey data were processed in a photogrammetric program and exported to a geographic information system for the preparation of the maps proposed for each project. Thus, a proposal for restoration of the area, a proposal for recovery and two proposals for local reuse will be presented. Through this study it is intended to correct or minimize the collateral effects resulting from the exploratory activity in the quarry, bringing again the environmental balance to the area or a return in the form of leisure or even financial to the community around the old mining of mineral aggregates for paving.

KEYWORDS: Recovery, Restoration, Reuse.

1 | INTRODUÇÃO

A superfície terrestre sofre alterações constantemente desde sua formação através dos processos de intemperismo, onde montanhas são desgastadas, encostas de morros desabam, e rios têm suas margens erodidas. Estes processos são naturais e continuarão acontecendo naturalmente, assim alterando as características da superfície.

Já regiões onde são encontradas alterações nocivas ao meio ambiente oriundas de atividades humanas são consideradas áreas degradadas. Carpanezzi *et al.* (1990) considera como área degradada, um local que após um distúrbio teve os seus meios de regeneração natural minimizados, enquanto um meio perturbado é aquele que sofreu um impacto, mas em escala menor, e conseguiu manter seus meios de regeneração.

Conceito complementar de área degradada é descrito pelo IBAMA (1990), sendo uma área onde a flora e fauna foram removidas, expulsas ou destruídas, quando se tira a camada fértil do solo, e se altera o regime hídrico. Isto só ocorre quando existe uma perda das características físicas, químicas e biológicas do ambiente, atrapalhando o desenvolvimento socioeconômico (ALEXANDRE, 2018).

É recorrente a associação de áreas degradadas com a mineração, sendo que, para tanto a recuperação ambiental destes locais são de responsabilidade do empreendedor, com a restauração ou recuperação do ambiente degradado (BRASIL, 1988). Nesse contexto, o artigo 225, capítulo VI – Do Meio Ambiente, da Constituição

Brasileira de 1988, descreve no inciso 2º que “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei”.

Quando se trata da recuperação de uma área degradada isso abre três possibilidades, conforme Brasil (1988):

I - restauração completa a sua forma original: onde serão restauradas todas as suas características topográficas e ambientais tais como eram antes da exploração, esta alternativa por vezes não se faz viável pelo alto custo e pelo tipo de exploração que foi feita no local, não permitindo uma total restauração a sua forma de origem;

II- recuperação da área: onde serão recuperadas parcialmente as características originais, mas será executado um trabalho para se aproximar ao máximo das características originais do local, tendo em vista que uma restauração das características topográficas originais em muitas vezes se faz inviável, sendo assim, se trabalha para recuperar ao máximo o equilíbrio dinâmico da área buscando se aproximar da sua condição original;

III- reutilização da área: neste processo as características originais são deixadas de lado, já que o seu principal objetivo é achar uma nova utilização para esta área.

Portanto, o Projeto de Recuperação de Área Degradada (PRAD) envolve tempo, custo financeiro, conhecimento técnico e planejamento de execução. Nos dias atuais ter um bom PRAD é fundamental para qualquer empreendimento que vise atuar na mineração, tendo em vista que cada vez mais nossa sociedade prega pelo consumo de matéria prima oriunda de atividade ecologicamente correta. Tratando-se de mineração, onde os impactos geralmente são altos para o meio ambiente, deve-se sempre buscar a melhor maneira de recuperar estas áreas, com o intuito de minimizar os efeitos posteriores à mineração.

2 | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na região nordeste do município de Morro Redondo-RS, no limite com o município de Pelotas-RS (Figura 1). Refere-se a uma antiga pedreira utilizada para a produção de agregados minerais para a pavimentação da rodovia BR-392. Está localizada às margens da mesma rodovia, entre as coordenadas 31°30'37" e 31°30'55" de latitude sul e 52°36'00" e 52°36'28" de longitude oeste.

O empreendimento não foi encontrado nos registros do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), mas os indícios e o histórico informado pelos moradores próximos indicam que desde os anos de 1980 a pedreira está inativa. Também não foram encontrados processos de licenciamento ambiental em órgãos estaduais ou federais.

A área da cava apresenta aproximadamente 9.500 metros quadrados com altura média de 9,2 metros. A base da cava é predominantemente plana, com variações topográficas inferiores a 50 cm, o que facilita o acesso.

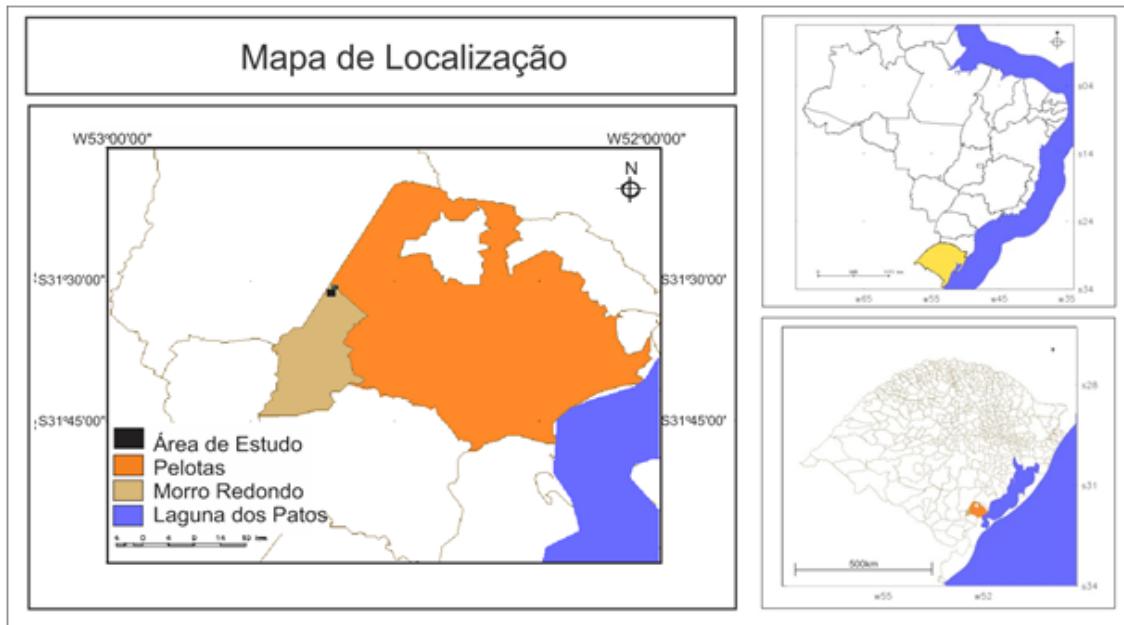


Figura 1 - Mapa de localização do município de Arroio do Padre

3 | METODOLOGIA

Nestas pesquisas realizou-se diversas etapas de campo e laboratório: reconhecimento de campo, levantamento de pontos de controle com GNSS, aerolevantamento fotogramétrico com Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT, processamento fotogramétrico e processamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

3.1 Reconhecimento de Campo

Foi realizado um trabalho de campo em 11 de maio de 2019, onde foi feito o reconhecimento da área, os locais com solo exposto, as drenagens e residências circunvizinhas. Também foi analisado a cobertura vegetal existente, os fragmentos de rocha rolados e os depósitos de encosta. Por fim, foi realizado o aerolevantamento com VANT e a demarcação e rastreio de pontos de controle.

3.2 Levantamento de Pontos de Controle

Foram rastreados em campo 28 pontos de controle, para tanto, utilizou-se um par de receptores geodésicos com correção diferencial (*Real Time Kinematic - RTK*). Na técnica RTK, a estação base recebe os dados brutos da estação móvel, gera e transmite as correções diferenciais para a estação móvel, que utiliza essas informações para determinar a sua posição. O resultado deste tipo de posicionamento são coordenadas corrigidas com precisão na ordem subdecimétrica (FREIBERGER JUNIOR, 2002).

O método de posicionamento geodésico dos pontos de controle são baseados na proposta de Bruch et al. (2019), onde primeiramente são materializados os alvos para o reconhecimento nas imagens.

Conseguinte, é instalada a base em ponto materializado, configurado o trabalho

com a altura da antena, intervalo de registro de posição e o formato de envio das correções. A partir deste momento, são transmitidas as correções diferenciais para a estação móvel. Na estação móvel (*ROVER*) é realizada à configuração do projeto, onde é considerada a altura da antena e os Sigmas de erro para definição da solução da posição (fixa ou flutuante).

Com a finalização do levantamento de campo, as posições registradas pelo receptor móvel são planilhadas. É feito o *download* do arquivo de posição da base em formato RINEX. O pós processamento da base para a correção dos erros foi realizado através do sistema de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). O sistema de referência geodésico utilizado foi o SIRGAS 2000.

3.3 Aerolevantamento Fotogramétrico com VANT

No aerolevantamento da pedreira, utilizou-se um Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT de asa rotativa, modelo Phantom 4 Advanced, fabricado pela empresa chinesa DJI. O VANT é um equipamento de pequeno porte, remotamente controlado que possui uma câmera fotográfica acoplada que gera imagens de alta resolução. As características do VANT são seguintes:

- Peso em ordem de voo: 1368 gramas
- Autonomia de voo: 28 minutos
- Distância máxima de alcance de rádio transmissor: 5 km
- Bateria: LiPo4s de 5870 mAH
- Câmera: Sensor CMOS de 20 Mega pixels
- Dimensão máxima de cada foto: 5472 x 3648 pixels
- Posicionamento Espacial: GPS+GLONASS

Para aumentar a precisão do levantamento, principalmente manter a taxa de sobreposição das imagens, altura e velocidade de voo, foi criado um plano de voo (Figura 2) através do programa gratuito *DroneDeploy*, com as seguintes características:

- Altitude de voo: 100 metros
- Sobreposição lateral das faixas: 60%
- Sobreposição frontal das fotos: 70%
- Azimute de voo: 85°
- Velocidade máxima: 15 m/s
- Visada da câmera: Nadir
- Resolução espacial: 2,5 cm/pixel

- Tempo de voo: 7 minutos e 19 segundos

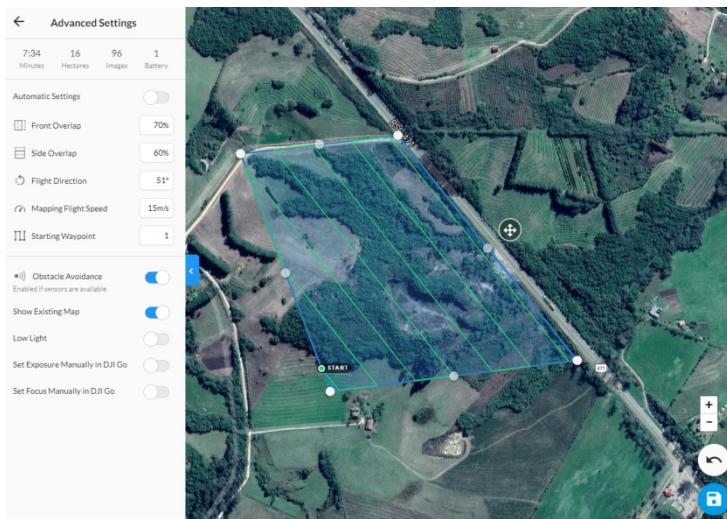


Figura 2 - Plano de voo criado no programa DroneDeploy

3.4 Processamento Fotogramétrico

Para o processamento fotogramétrico foi utilizado o programa desenvolvido pela empresa Agisoft, denominado PhotoScan Profissional, conforme a proposta de Jaud et al. (2016). Este programa permite a criação de ortomosaicos com alta resolução espacial através da técnica de mosaicagem com base nas semelhanças entre as imagens (BRUCH et al., 2019).

O processamento fotogramétrico começa com avaliação visual da qualidade das imagens e dos registros do intervalômetro. Em seguida foi realizada à importação das imagens e o alinhamento das mesmas (Figura 3), onde o programa define os parâmetros da câmera utilizada, o Ponto Principal (pp) e a rotação das fotos. Também foi verificado se toda área havia sido imageada durante o levantamento. Apesar das imagens já possuírem um registro com as coordenadas geográficas de localização, estas foram corrigidas através de georreferenciamento com os 28 pontos materializados em campo. Este processo foi realizado para aumentar a precisão do ortomosaico (BRUCH et al., 2019).

Consequentemente, é gerada a nuvem de pontos homólogos e construído o Modelo Digital de Superfície (MDS). Também foi gerado um ortomosaico para o conhecimento da área. Para a geração destes produtos, o *PhotoScan* utiliza a tecnologia *multiview*, a qual permite processar imagens arbitrárias, com variação de sobreposição, desde que existam pontos homólogos em imagens distintas (BRUCH et al., 2019). Por fim, o ortomosaico e o MDS foram exportados no formato *Tagged Image File Format* (TIFF), com resolução espacial de 2,5 cm.

3.5 Processamento em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Para a geração dos produtos cartográficos e as quantificações espaciais de área de Recuperação, Reuso e Restauração, foi utilizado o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING 5.5.1. Este programa permite a criação de

vetores temáticos e modelos numéricos necessários para a análise da área de estudo.

Primeiramente foi realizada a importação do mosaico e do MDS oriundos do processamento fotogramétrico. O mosaico foi importado para um modelo de dados imagem e o MDS foi importado para um modelo de dados numérico. A próxima etapa foi à criação dos modelos temáticos onde foram criados os mapas de Restauração, Recuperação e Reuso da área. Por fim, foi realizada a edição final dos mapas no sistema de formatação de cartas Scarta do próprio SPRING.

4 | RESULTADOS

4.1 Restauração

Para a Restauração total da área, será necessário restaurar a topografia como era originalmente, para isso será necessário encher os 9.760 m² da cava. Como a pedreira tem uma média de 12 metros de profundidade seriam necessários 117.120 m³ de aterro, que são iguais a 11.712 caminhões de terra com capacidade de carga de 10m³. Esta solução apresenta-se com um custo muito elevado, sendo que, uma saída economicamente viável seria a utilização da área como depósito de material inerte até a cota topográfica preexistente ser atingida. Na área circunvizinha à pedreira já existe um depósito de material inerte de pequena capacidade, utilizado pela concessionária da rodovia em processos de recapeamento do pavimento (Figura 3).



Figura 3 - Depósito de material inerte utilizado pela concessionária da rodovia.

Após a cava ser totalmente preenchida será dado início ao trabalho de reflorestamento total desta área, com a utilização de 1667 mudas de árvores nativas, com um espaçamento de 2x3 e 10kg de sementes de leguminosas arbóreas plantadas entre as mudas. O replantio das mudas que não vingarem deve estar programado. Este replantio geralmente perfaz a casa dos 20%, onde deverá ser realizado o acompanhamento por dois anos contra pragas e roçamento, buscando evitar que ervas daninhas tomem conta da área. Esta proposta em vias de fato é a proposta menos viável a ser adotada (Figura 4).

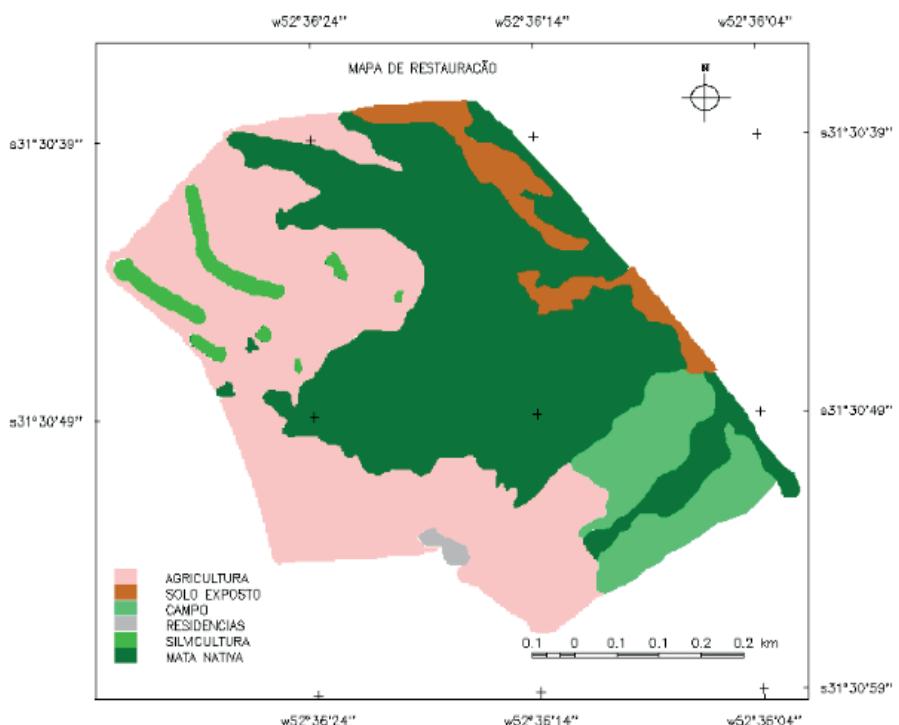


Figura 4 - Mapa da área restaurada conforme proposição.

4.2 Recuperação

Para a Recuperação de uma área degradada, onde se visa a devolução da área ao meio ambiente, diferentemente da restauração, alguns aspectos físicos do local serão mantidos. Exemplo disso é topografia, que deve ser mantida como se encontra. Como não existe solo fértil na cava da pedreira, deverá ser realizado o recobrimento dos 9.760 m², com uma espessura média de 30 cm de solo. Para esse processo, são necessários 2.928m³ de terra, ou seja, o equivalente a 293 caminhões de terra com capacidade de carga de 10m³. Após esta etapa de recobrimento da área, será feito um reflorestamento através da técnica de nucleação, ou seja, a criação de ilhas de vegetação com espécies frutíferas nativas dentro da área, buscando atrair os animais e a partir destas ilhas, a vegetação siga o ciclo natural e tome conta da área.

Para auxiliar na revegetação deve ser instalado um conjunto de poleiros para atrair aves, pois estas trazem sementes nos seus excrementos, assim auxiliando na revegetação. Para acelerar este processo, é utilizada uma camada de serapilheira, sendo restos orgânicos retirados de áreas onde já existe um ecossistema semelhante ao que se tem por objetivo restaurar, assim trazendo sementes e micro organismos para área a ser recuperada. A configuração proposta para a recuperação é apresentada na Figura 5.

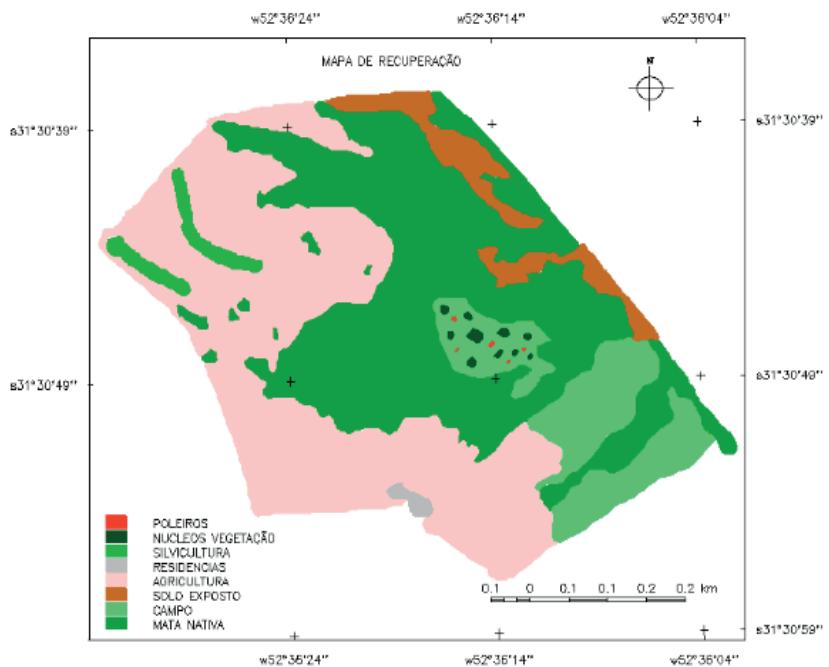


Figura 5 - Mapa de recuperação proposto para a área de estudo.

4.3 Reutilização/Reuso

Para o reuso da área serão propostos dois projetos, um deles visando o lazer da comunidade e outro um retorno financeiro. O primeiro é o projeto de uma pista de ciclismo tipos *mountain bike* (Figura 6), onde será utilizado o resto do material rochoso da mineração (Figura 7) e terra para a construção das rampas. Fazendo uma análise na pedreira, foram identificados pontos de instabilidade como estão descritos no mapa. Como medida para evitar qualquer tipo de acidentes oriundos desta instabilidade rochosa, deve ser utilizada malha de aço sobre a área instável, onde a mesma é fixada ao corpo rochoso não fraturado e por fim executada a cimentação sobre a malha.

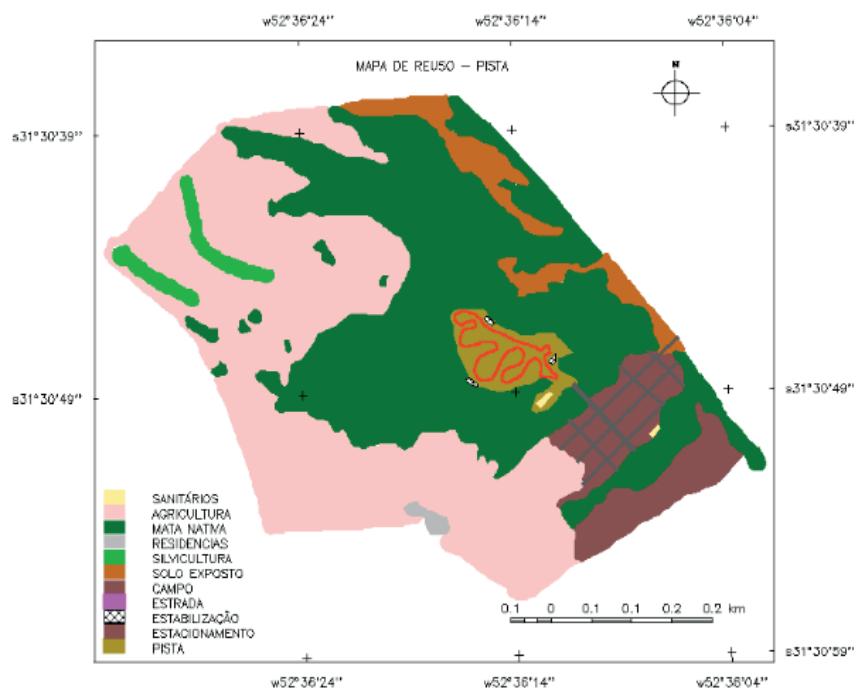


Figura 6 - Mapa de reuso com a área projetada para a pista.



Figura 7 - Fragmentos rochosos disponíveis para a construção de rampas

Já o segundo projeto concentra-se na construção de um lago para o desenvolvimento da piscicultura (Figura 8). Para que tal projeto seja viável tecnicamente, é necessária a construção de uma barragem. O barramento possibilitará a criação de 10.000 a 15.000 kg de peixes, dependendo a espécie. O nível de água será no máximo de 8 metros, já que a bancada mais baixa da pedreira tem esta altura, seguindo as normas de segurança de barragem, onde se tem que para cada metro de água a barragem deve ter dois de base e o topo da mesma deve ser plano foi adotada uma barragem com 35m de base e 3 m de largura no topo (Figura 9).

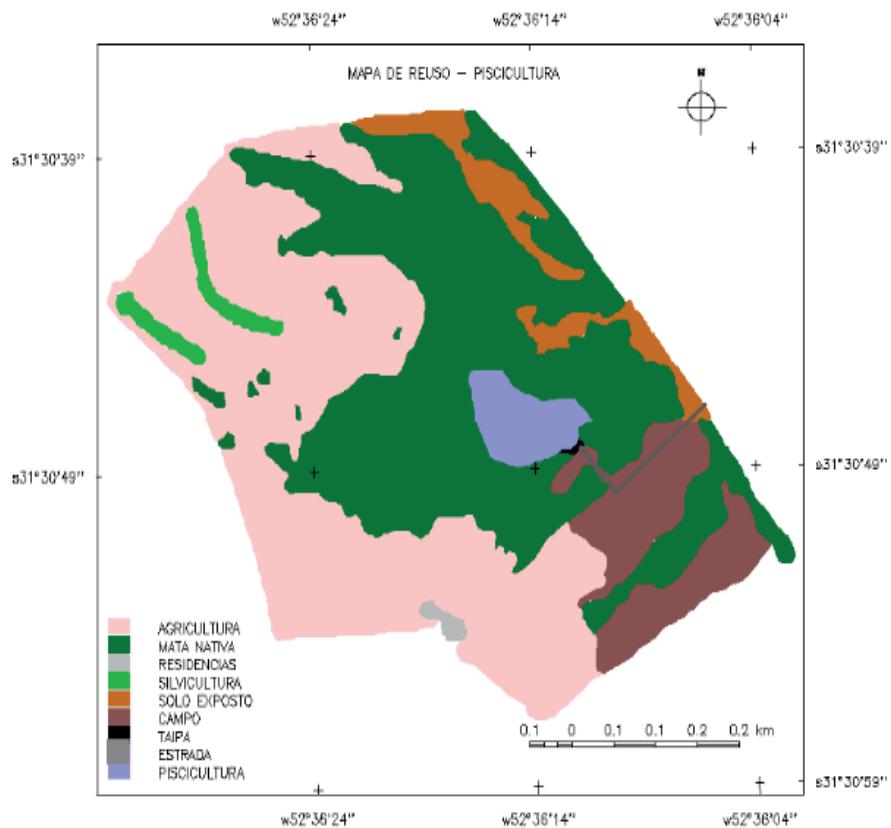


Figura 8 - Mapa da área de reuso com a barragem já construída.

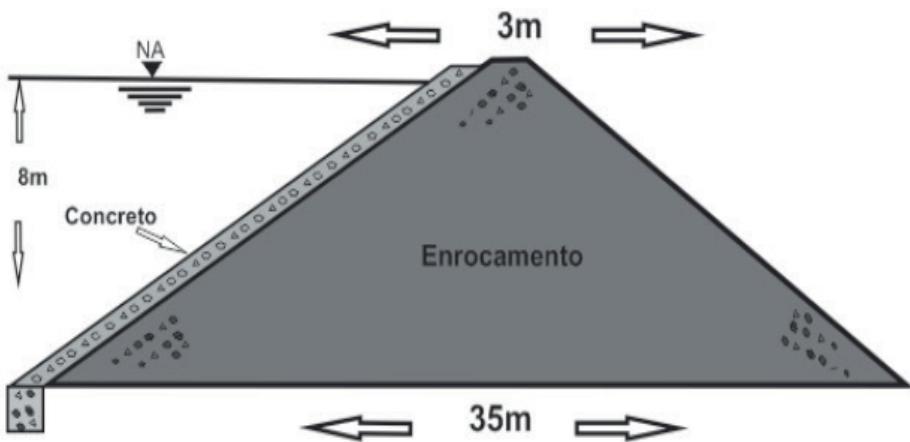


Figura 9 - Proposta de taipa de barragem. Fonte: adaptado de Massad e Faiçal (2010).

Esta barragem vai ser construída com enrocamento utilizando-se o material rochoso (fragmentos) que já existem no local e foi sobra da mineração.

O lado da barragem que terá contato com a água será impermeabilizado pelo concreto. Nas zonas fraturadas, deve ser executada a injeção de calda de cimento mais líquida que o concreto tradicional, assim permitindo sua percolação pelas fraturas e posteriormente o selamento das mesmas (MASSAD e FAIÇAL, 2010).

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mineração é uma atividade reconhecida pelo seu alto impacto ambiental e

também pela necessidade de recuperar, reutilizar ou restaurar o local minerado. Nesse sentido, este trabalho buscou apresentar quatro propostas, duas de reuso, uma de restauração e outra de recuperação. Após analisar as quatro propostas desenvolvidas pra área de estudo, assim como toda a logística e o possível retorno para a sociedade, cada uma destas apresenta vantagens e desvantagens perante o objetivo final.

Sendo assim, a proposta de piscicultura apresenta-se como a mais viável economicamente, tem um retorno a curto e médio prazo, trazendo a possibilidade do desenvolvimento de uma atividade econômica rentável pra comunidade rural que mora no entorno da antiga pedreira. Pelo baixo custo de construção da barragem, já que quase todo material necessário para construção da mesma será oriundo de sobras da antiga atividade mineira desenvolvida no local, sendo apenas necessário ser investido no concreto que recobriria o lado da barragem que tem contato com a água e a injeção de calda de cimento em três pontos fraturados.

Na piscicultura, a aquisição de alevinos e a capacitação da mão de obra para esta atividade, pode ser feita através do Laboratório de Piscicultura da Barragem do Chasqueiro, pertencente a Agência da Lagoa Mirim (ALM) da UFPel, que faz doação de alevinos para produtores rurais da região sul através do projeto de Gestão da Pesca e Aqüicultura na Lagoa Mirim desenvolvido conjuntamente com o Ministério da Pesca e Aqüicultura (MPA). Outro reuso proposto foi a área de entretenimento, com a implantação de uma pista de ciclismo a qual agrega uma nova funcionalidade social e econômica, com conservação ambiental, pois a atividade impacta minimamente no ambiente.

Já a proposta de Recuperação apresenta-se como uma opção viável economicamente, pois são necessárias inserções pontuais de vegetação com mínima recomposição do substrato pedológico. Apresenta elevado retorno ambiental, pois devolve a área para a sociedade com as características de ambiente natural, com cobertura vegetal próxima a originais, mas com mudanças na topografia original.

Por fim, a Restauração é um processo economicamente mais oneroso, mais apresenta um elevado retorno ambiental, pois recompõe topograficamente a superfície, assim como a flora. Neste projeto, visando reduzir o custo, foi proposto o aterramento da área com material inerte, a qual está amplamente disponível na área.

Sendo assim, esta pesquisa buscou demonstrar a opções de recuperação, reuso e restauração de uma área de mineração, assim como a viabilidade econômica e o retorno ambiental e social que ambos os projetos proporcionam.

REFERÊNCIAS

ALEZANDRE, F. I. B. **Proposta de Recuperação de Área Degradada em Monte Bonito, Pelotas/RS.**. Monografia (Graduação em Engenharia Geológica). Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 2018. 61 p

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRUCH, A. F.; CIROLINI, A.; THUM, A. B.; CARNEIRO, M. Avaliação da Acurácia das Cubagens de Volumes de Mineração através de Levantamentos Convencionais e Fotogramétricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1. p. 283-298, 2019.

CARPANEZZI, A. A. 1990. Espécies pioneiras para recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais. IN: **CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO**, 6., 1990, Campos do Jordão. Anais... Campos do Jordão: SBS; SBEF, v. 3, p. 216-221.

FREIBERGER JUNIOR, J. **Análise da degradação do posicionamento em tempo real com o emprego do GNR**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2002. 136

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE; DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: b técnicas de revegetação**. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Dos Recursos Naturais Renováveis, IBAMA, 1990

JAUD, M.; PASSOT, S.; LE BIVIC, R.; DELACOURT, C.; GRANDJEAN, P.; LE DANTEC, N. Assessing the Accuracy of High Resolution Digital Surface Models Computed by PhotoScan and MicMac in Sub-Optimal Survey Conditions. **Remote Sensing** [online] 8/6. 2016.

MASSAD, F. Obras de terra: curso básico de geotecnia. Oficina de textos, 2010.

AHP – PROPOSTA PARA APLICAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE RCC EM CANTEIROS DE OBRAS VERTICais E ALGUNS ASPETOS DIVERGENTES

Romão Manuel Leitão Carrapato Direitinho

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar),
São Carlos - SP

José da Costa Marques Neto

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar),
São Carlos - SP

Rodrigo Eduardo Córdoba

Universidade Federal de São Carlos (UFSCar),
São Carlos - SP

meio. O trabalho identifica e analisa algumas diferenças na forma de aplicação do método e propõe uma estrutura em 4 níveis hierárquicos para otimização do gerenciamento de RCC/RCD em canteiros de obras de construção civil verticais.

PALAVRAS-CHAVE: AHP; Gerenciamento de RCC; Canteiros de obras; Construção civil vertical

AHP - PROPOSAL FOR APPLICATION IN RCC MANAGEMENT IN VERTICAL CONSTRUCTION SITES AND SOME DIVERGENT ASPECTS

ABSTRACT: AHP is almost certainly the most widely used multi-criteria decision support method in the world. However, there are few studies that present proposals for structuring the method to optimize the management of construction waste (RCC / RCD) in the construction site and to analyze differences in the application of the same method, the AHP. The objective of this study is to analyze these differences and elaborate the proposal of a structure for application of the method in the optimization of construction waste management in vertical civil construction sites. For this, a bibliographic review is done, on both the RCCs and the AHP method, and then it's proposed a structure, set up by the researcher, which should

RESUMO: O AHP é quase certamente o método multicriterial de apoio à decisão mais utilizado no mundo. Entretanto são raros os estudos que apresentem propostas de estruturação do método para otimização do gerenciamento de resíduos de construção civil (RCC/RCD) em canteiro e que analisem diferenças na forma de aplicação do mesmo método. O objetivo deste estudo é analisar essas diferenças e elaborar a proposta de uma estrutura para aplicação do método na otimização do gerenciamento de resíduos de construção em canteiros de obras civis verticais. Para isso começa por ser feita uma revisão bibliográfica quer sobre os RCC quer sobre o método AHP, sendo que depois se propõe uma estrutura montada pelo pesquisador, a qual deverá ser avaliada por especialistas. O conteúdo do artigo resulta de um trabalho de doutorado neste momento a

be evaluated by specialists. The content of the article results from a doctorate study, at this point in its middle way. The paper identifies and analyzes some differences in the application of the method, and proposes a structure in 4 hierarchical levels to optimize the management of RCC / RCD in construction sites of vertical civil works.

KEYWORDS: AHP; RCC management; Construction sites; Vertical civil construction

1 | INTRODUÇÃO

Tavares (2007), refere que em suas atividades como construção, reformas, manutenção e demolição, a construção civil dá origem a uma significativa massa de resíduos (RCC/RCD), os quais são prejudiciais ao meio ambiente, causando grandes impactos no mesmo.

Marques Neto (2009) inclui os RCC/RCD, dentre os resíduos sólidos urbanos (RSU), e pela NBR 10.004 (ABNT, 2004) na classe II-B (inertes).

A gestão dos RCC/RCD gerados em obra é **um problema multicriterial** pois responderá simultaneamente a questões econômicas, ambientais, de legislação e outras.

Rodriguez et al. (2013), mapeiam 32 artigos sobre métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados em Planejamento e Controle da Produção: 50% deles eram sobre um único método, o AHP (16). O mesmo, em conjunto com o ELECTRE (25%) e o MAUT (12,5%) representava 87,5% do total de artigos. Embora existam muitos outros métodos multicritério, isso sugere que o AHP seja o mais utilizado.

Este artigo, partindo de revisão bibliográfica sobre a aplicação do método AHP a problemas em várias áreas de conhecimento, centrando mais na área ambiental e mais especificamente na área de resíduos sólidos, tenta resolver a questão/problema de como otimizar a gestão dos RCC/RCD em canteiros civis verticais, propondo para isso uma estruturação do método AHP em 4 níveis, envolvendo critérios de vários tipos. Ao longo do processo encontraram-se diferenças na forma de aplicação do mesmo método, o AHP, que é algo que normalmente também não tem sido abordado em artigos.

2 | MÉTODO DE PESQUISA

Seguiu-se a seguinte sequência/metodologia: Passos: 1 – Revisão bibliográfica sobre os principais aspectos pertinentes aos RCC, seu gerenciamento, e canteiros de obras civis; 2 – Estudo do modo de funcionamento do método AHP em problema sobre área de conhecimento genérica; 3 – Estudo da aplicação do método a problema ambiental; 4 – Estudo da aplicação do método a problemas de resíduos sólidos (ainda que não sobre gerenciamento de RCC em canteiros); 5 – Identificação de diferenças na forma de aplicação do método AHP; 6 – Identificação de fatores críticos/importantes do/no método AHP; 7 – Definição da meta do problema na proposta; 8 – Definição dos

critérios a adotar na proposta; 9 - Definição das alternativas a adotar na proposta.

3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA / REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Instrumentos normativos e legais brasileiros sobre RCC/RCD e classificação desses resíduos

3.1.1 *Resoluções CONAMA*

Para Lordêlo et al. (2006), a Resolução Conama 307/2002 foi a principal medida tomada legal tomada no Brasil quanto aos RCC/RCD. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para sua gestão, e ações necessárias para minimizar seus impactos ambientais. Prioriza, decrescentemente, em canteiros: 1- Não gerar; 2- Reduzir; 3 – Reusar; 4 – Reciclar; 5– Destinar de forma ambientalmente adequada.

O artigo 3º define uma classificação para os RCC/RCD e quais pertencem a cada classe. Classifica-os em 4 classes (A, B, C, D), explica quais os critérios para pertencer a cada, dá exemplos de resíduos pertencentes a cada, e indica quais destinações os resíduos de cada uma devem ter; o Artº 10º faz o mesmo que o artigo 3º, mas separa os resíduos por tipos dentro de cada classe, e refere quais os cuidados a ter com cada tipo, e suas destinações.

Para Brum (2013), a CONAMA 307/2002 sofreu 3 revisões: resolução CONAMA nº 348/2004 (incluiu o amianto na classe D- perigosos); a CONAMA nº 431/2011 (muda o gesso de C para B); e a CONAMA nº 448/2012, restruturação mais profunda, que visa o ajuste da CONAMA nº 307/2002 à Lei Federal nº 12.305/2010. Projetos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. (PGRCC) passaram a Planos de Gerenciamento de RCC, preservando diretrizes e responsabilidades dos grandes geradores. Mais tarde, uma 4ª revisão, a CONAMA nº 469/2015, redefiniu embalagens vazias de tintas imobiliárias, como “... aquelas cujo recipiente tem apenas filme seco de tinta sobre o revestimento interno, sem o acúmulo de resíduos de tinta líquida.” e estipulou a obrigatoriedade da logística reversa para as embalagens vazias de tintas usadas na construção civil, conforme os requisitos da Lei nº 12.305/2010, que contempla o descarte ambientalmente adequado dos respectivos resíduos de tintas.

3.1.2 *Lei Federal 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos, PNRS)*

Para Brum (2013), dispõe sobre princípios, objetivos e instrumentos relativos à gestão integrada e gerenciamento dos chamados resíduos sólidos (ou designados de RS), incluindo responsabilidades dos geradores, poder público, e instrumentos econômicos aplicáveis. A responsabilidade dos geradores e poder público vem por meio dos Planos de Resíduos Sólidos (PRS), e dividem-se em 4 níveis. No 1º nível (topo), que compete à União, e quanto aos RS, tem-se o Plano Nacional de Resíduos

Sólidos (PRS); no 2º nível, que compete aos estados, temos 3 tipos de planos (Planos Estaduais de RS, micro-regionais de RS, e planos de RS de regiões metropolitanas ou aglomerados urbanos); no 3º nível, o municipal, temos os Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (os PIGRCC) e os intermunicipais de RS; no 4º nível, o dos privados, temos os Planos de Gerenciamento de RS (os PGRCC).

É ainda instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, envolvendo fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores, que se responsabilizam pelo sistema de logística reversa daqueles.

3.1.3 Normas nacionais sobre ou correlacionadas a RCC/RCD

Toda a série que vai desde a NBR 15.112:2004 até à NBR 15.116:2004.

3.2 Gerenciamento de RCC/RCD – Etapas e Prioridades/Objetivos

A Resolução nº 448/2012 do CONAMA refere etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos. Prioridades do gerenciamento dos RCC são decrescentemente: não gerar, reduzir a geração, reutilizar, reciclar, e proceder à respectiva disposição final ambientalmente adequada (Figura 1).

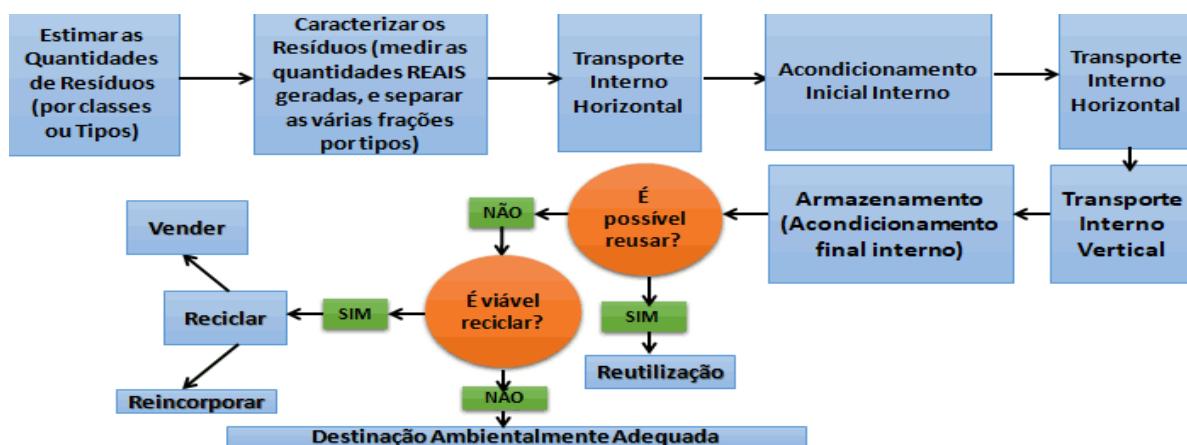


Figura 1 – Fluxograma genérico das etapas de gerenciamento de RCC/RCD em canteiros de edificações verticais. Fonte: O autor (2017).

3.3 Métodos Multicriteriais de Apoio à Decisão

Neles existem um ou mais decisores, a definição de uma meta, de conjunto de critérios e objetivos a seguir, e um conjunto de alternativas, e uma será escolhida.

4 | O MÉTODO AHP E SEU FUNCIONAMENTO

O AHP (Analytic Hierarchy Process) foi desenvolvido por Thomas Saaty, na década de 1970, na Universidade da Pensilvânia. Desde então foi extensivamente aplicado nos mais variados problemas complexos. O fluxograma da Figura 2 traduz uma descrição sintética do método.

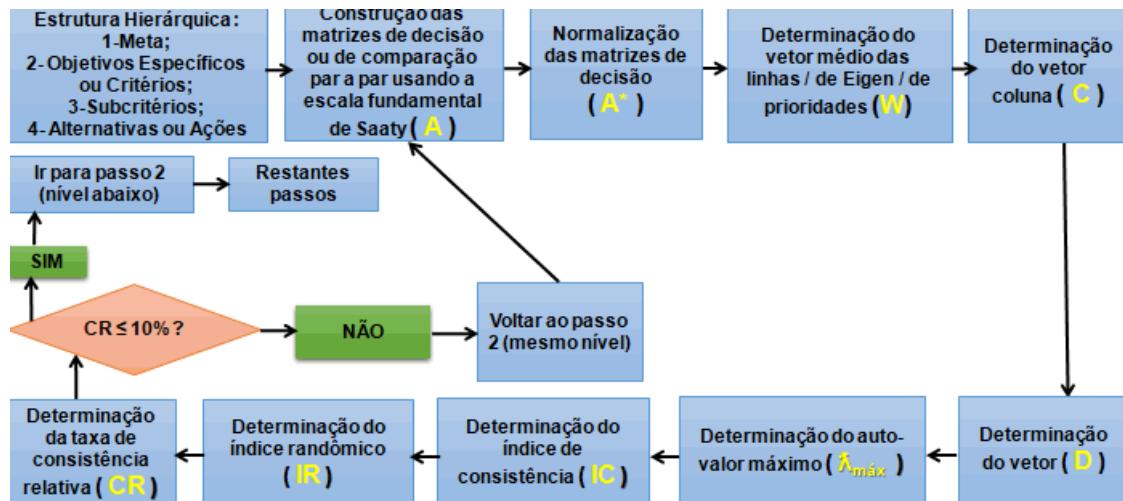


Figura 2 – AHP: As etapas do método.

Fonte: O autor (2017)

Passo 1 – Estrutura hierárquica para o problema (níveis): a que aparece em muitos autores é a da Figura 3.

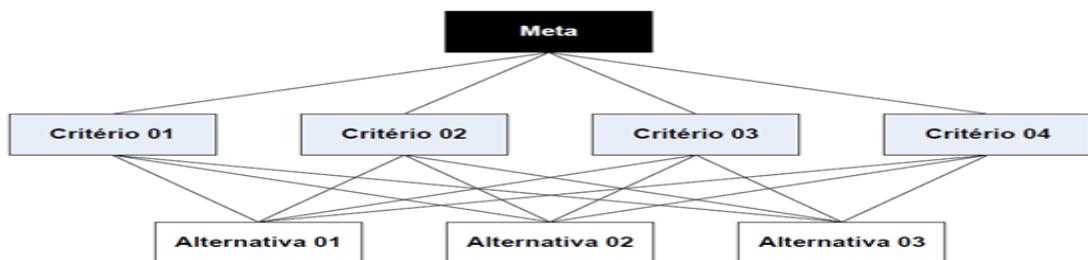


Figura 3 – Estrutura hierárquica do método AHP.

Fonte: Vargas (2010)

É uma estrutura em 3 níveis (meta do problema, critérios, alternativas/ações), sendo o objetivo escolher a melhor alternativa para atingir a meta. O número de critérios e alternativas pode variar. Em problemas mais “complexos” podem aparecer níveis intermediários.

Passo 2 – Matrizes de decisão [A]: comparam par a par os elementos de um determinado nível, segundo a respetiva importância para o nível acima, começando pelo nível 2. Daí para baixo cada nível tem as suas matrizes [A]. Essa importância é determinada segundo a escala da Figura 4.

Intensidade	Definição	Explicação
1	Igual importância.	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância pequena de uma sobre outra.	A experiência e o juízo favorecem uma atividade em relação à outra.
5	Importância grande ou essencial.	A experiência ou juízo favorece fortemente uma atividade em relação à outra.
7	Importância muito grande ou demonstrada.	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra. Pode ser demonstrada na prática.
9	Importância absoluta.	A evidência favorece uma atividade em relação à outra, com o mais alto grau de segurança.
2,4,6,8	Valores Intermediários.	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Figura 4 – Escala fundamental de Saaty.

Fonte: Oliveira, C.A. de; Belderrain, M.C.N., (2008)

São matrizes quadradas de ordem n , e recíprocas (Figura 5).

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 5 – Aspetto típico da matriz de decisão do método AHP.

Fonte: Oliveira e Belderrain, (2008).

Passo 3 – Normalização das matrizes [A]: toma-se cada um dos elementos das matrizes do tipo da figura 9 e divide-se pelo valor soma da respetiva coluna.

Passo 4 – Vetor médio das linhas/de prioridades, (W): Cada elemento é a média aritmética dos elementos da respetiva linha da matriz normalizada. Esses valores significam o peso que o critério/subcritério/ação tem para a meta.

Passo 5 – Vetor coluna, (C): resulta de multiplicar a matriz [A] pelo vetor (W).

Passo 6 – Vetor (D) = (C)/(W)

Passo 7 – Determinação de λ_{\max} : determina-se o valor soma dos elementos de (D) e a seguir calcula-se a média aritmética dos seus elementos. Esse valor médio é o λ_{\max} .

Passo 8 – Índice de consistência, IC: $IC = ((\lambda_{\max} - n) / (n - 1))$

Passo 9 – Índice randômico, IR: função de n (Figura 6).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Figura 6 – A Tabela de valores do índice randômico, IR.

Fonte: Saaty apud Ventura, (2009)

Passo 10 – Taxa de consistência relativa, CR: $CR = (IC / IR)$

IMPORTANTE – para que [A] seja considerada consistente $CR \leq 10\%$. Se isso não acontecer, retornar ao passo 2 e fazer uma reavaliação dos pesos atribuídos às comparações par a par, até que $CR \leq 10\%$. Isso validará os resultados. Se no final do passo 10 $CR \leq 10\%$ torna-se ao passo 2, mas para o nível hierárquico abaixo. Para determinar a melhor alternativa/ação, depois de repetir os passos para o nível 3 (alternativas/ações), calculava-se o valor do somatório de produtos dos vetores (W) de cada uma delas dentro de cada critério pela importância (W) do próprio critério para a meta do problema.

5 | RESULTADOS: DIFERENÇAS NA FORMA DE APLICAÇÃO DO MÉTODO E PROPOSTA PARA APLICAÇÃO NO GERENCIAMENTO DE RCC EM CANTEIROS CIVIS VERTICais

5.1 Proposta: contempla 4 níveis (Figura 7).

NÍVEIS HIERÁRQUICOS						
1= META:	Otimizar Gerenciamento dos RCC em canteiros					
2= CRITÉRIOS:	Ambientais	Sociais	Econômicos	Legislação	Estratégicos	Operacionais
3= SUBCRITÉRIOS:	Especificados mais adiante					
4= AÇÕES:	No caso são combinações de ações passíveis de realizar com as várias classes de resíduos					

Figura 7 – AHP: Uma proposta para aplicação em gerenciamento de RCC/RCD em canteiros civis verticais.

Fonte: O autor, (2017)

Os subcritérios que se definem dentro das várias classes de critérios, na proposta, são os que constam nas Figuras 8, 9, 10 e 11 a seguir.

Critérios ambientais - propõem-se os **SUBCRITÉRIOS:**

- 1– política ambiental da empresa
- 2– vantagens ambientais
- 3– desvantagens ambientais

Critérios sociais - propõem-se os **SUBCRITÉRIOS:**

- 1– condições de vizinhança da obra
- 2– política de responsabilidade social da empresa

Critérios de legislação – propõem-se os **SUBCRITÉRIOS:**

- 1– legislação municipal sobre RCC
- 2– legislação estadual sobre RCC
- 3– legislação federal sobre RCC

Critérios econômicos - propõem-se os **SUBCRITÉRIOS:**

- 1 – retorno sobre os investimentos efetuados
- 2 – diminuição dos riscos de acidentes de trabalho
- 3 – benefício na produtividade
- 4 – distância à ATT mais próxima
- 5 – distância à usina de reciclagem de RCC classe A mais próxima
- 6 – distância ao AS mais próximo
- 7 – capacidade financeira da empresa
- 8 – quantidade gerada de RCC
- 9 – facilidade em vender os RCC reciclados
- 10 – composição dos RCC gerados

Figura 8 (esquerda) – Sub-critérios ambientais, sociais e de legislação; **Figura 9** (direita) – Sub-critérios econômicos.

Fonte: O autor, (2017).

Critérios estratégicos - propõem-se os SUBCRITÉRIOS:

- 1 – grau de compromisso da administração
- 2 – grau de compromisso do gerente e mestre de obras
- 3 – grau de compromisso dos funcionários em geral
- 4 – grau de compromisso dos projetistas
- 5 – importância dada (pela administração) à reputação
- 6 – definição de metas (redução, reutilização, reciclagem)
- 7 – definição clara de responsabilidades

Critérios operacionais - propõem-se os SUBCRITÉRIOS:

- 1 – melhoria da organização do canteiro
- 2 – equipamentos de transporte interno disponíveis
- 3 – equipamentos de acondicionamento interno disponíveis
- 4 – periodicidade da triagem
- 5 – habilidade/treinamento dos funcionários
- 6 – instante da triagem
- 7 – localização dos equipamentos de acondicionamento

Figura 10 (esquerda) – Sub-critérios estratégicos; **Figura 11** (direita) – Sub-critérios operacionais.

Fonte: O autor, (2017).

A Figura 12 traduz as ações possíveis de realizar com as várias classes de resíduos.

AÇÕES \ CLASSES	REDUZIR	REUSAR	RECICLAR E REINCORPORAR	RECICLAR E VENDER	DESTINAÇÃO AMBIENTALMENTE ADEQUADA	DEVOLVER	VENDER
CLASSE A	x	x	x	x	x		
CLASSE B	x	x		x	x		
CLASSE C	x				x		
CLASSE D	x				x		
LOGÍSTICA REVERSA						x	x

Figura 12 – AHP: Ações possíveis de realizar com as várias classes de resíduos de construção.

Fonte: O autor, (2017).

O 4º e último nível hierárquico da proposta, é o das ações, que funcionam como alternativas, mas que, em virtude da natureza sistêmica do problema, transformar-se-á em combinações de ações. Estabelecem-se regras para construi-las. Assim: i) RCC classe A sofrem 3 tipos de ações diferentes simultaneamente, sendo uma obrigatoriamente reduzir; ii) RCC classe B também; iii) RCC classe C sofrem simultaneamente as duas ações possíveis (reduzir; destinar de forma ambientalmente adequada); iv) RCC classe D sofrem simultaneamente as duas ações possíveis (reduzir; destinar de forma ambientalmente adequada); v) Resíduos de Logística Reversa sofrem 1 das duas ações possíveis (devolver ou vender); vi) Qualquer combinação deverá contemplar simultaneamente as 5 classes de resíduos estabelecidas.

Estruturada a proposta, faz-se a aplicação do método: primeiro constroi-se 1 matriz de decisão que compara as 6 classes de critérios entre si (Figura 13).

META - OTIMIZAR O GERENCIAMENTO DE RCC/RCD EM CANTEIROS CIVIS VERTICais						
	CR. AMBIENTAIS	CR. SOCIAIS	CR. ECONÔMICOS	CR. LEGISLAÇÃO	CR. ESTRATÉGICOS	CR. OPERACIONAIS
CR. AMBIENTAIS	1	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}
CR. SOCIAIS	$1/a_{12}$	1	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}
CR. ECONÔMICOS	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1	a_{34}	a_{35}	a_{36}
CR. LEGISLAÇÃO	$1/a_{14}$	$1/a_{24}$	$1/a_{34}$	1	a_{45}	a_{46}
CR. ESTRATÉGICOS	$1/a_{15}$	$1/a_{25}$	$1/a_{35}$	$1/a_{45}$	1	a_{56}
CR. OPERACIONAIS	$1/a_{16}$	$1/a_{26}$	$1/a_{36}$	$1/a_{46}$	$1/a_{56}$	1

Figura 13 – Matriz de decisão para comparação par a par entre todos os elementos do nível 2 da proposta – “classes” de critérios.

Fonte: O autor, (2017).

Seguem-se os passos até o passo 10. A atribuição dos a_{ij} na matriz resultará de uma média dos valores de especialistas. Cumprindo-se o critério de consistência relativa nesta 1^a fase/nível, desce-se um nível hierárquico, e numa 2^a fase, seguindo uma “variante” da forma clássica/típica do AHP já aplicada por outros, constroem-se matrizes de comparação para a par dos critérios/subcritérios que pertencem à mesma classe. Exemplificando para a classe critérios operacionais (Figura 14). De novo seguem-se os restantes passos até o passo 10, onde será analisada a consistência destas 6 matrizes.

	“CRITÉRIOS” OPERACIONAIS						
	MELHORIA ORGANIZAÇÃO CANTEIRO	EQUIP. TRANSP. INTERNO DISPONÍVEIS	EQUIP. ACONDIC. INTERNO DISPONÍVEIS	PERIODICIDADE NA TRIAGEM	HABILID./TREINAM. DOS FUNCIONÁRIOS	INSTANTE DA TRIAGEM	LOCALIZ. DOS EQUIPAM.
MELHORIA ORGANIZAÇÃO CANTEIRO	1	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}	A_{17}
EQUIP. TRANSP. INTERNO DISPONÍVEIS	$1/A_{12}$	1	A_{23}	A_{24}	A_{25}	A_{26}	A_{27}
EQUIP. ACONDIC. INTERNO DISPONÍVEIS	$1/A_{13}$	$1/A_{23}$	1	A_{34}	A_{35}	A_{36}	A_{37}
PERIODICIDADE NA TRIAGEM	$1/A_{14}$	$1/A_{24}$	$1/A_{34}$	1	A_{45}	A_{46}	A_{47}
HABILID./TREINAM. DOS FUNCIONÁRIOS	$1/A_{15}$	$1/A_{25}$	$1/A_{35}$	$1/A_{45}$	1	A_{56}	A_{57}
INSTANTE DA TRIAGEM	$1/A_{16}$	$1/A_{26}$	$1/A_{36}$	$1/A_{46}$	$1/A_{56}$	1	A_{67}
LOCALIZ. DOS EQUIPAM. DE ACONDICION.	$1/A_{17}$	$1/A_{27}$	$1/A_{37}$	$1/A_{47}$	$1/A_{57}$	$1/A_{67}$	1

Figura 14 – Matriz de decisão para comparação par a par entre todos os elementos do nível 3 da proposta pertencentes à classe de critérios operacionais.

Fonte: O autor, (2017).

Desce-se outro nível, passa-se ao das combinações de ações, e: ou se constroem matrizes segundo cada um dos critérios/subcritérios (levará a 32 matrizes de ordem 36), ou se constroi uma matriz de decisão [A] “genérica” entre as combinações de ações possíveis para a globalidade dos critérios/subcritérios, e ter-se-á uma única matriz de ordem 36. Procedendo da primeira forma, para achar o peso/importância de uma determinada combinação de ações para a meta do problema far-se-ia: através do vetor (W) correspondente à matriz de comparação par a par de todas as combinações de ações para um determinado critério, achar-se-ia a importância de qualquer combinação segundo esse critério. Multiplicando-se qualquer desses

36 pesos pela importância do critério dentro da respetiva classe, e depois também pelo peso da própria classe quanto à respetiva contribuição para a meta, chegava-se à contribuição/peso de uma determinada combinação para a meta, via/através de uma classe de critérios específica. Fazendo o mesmo para essa combinação e para os restantes critérios e restantes classes de critérios, através de uma somatória de produtos chegar-se-ia à importância/peso total (global) daquela combinação de ações para a meta do problema. Calculando o mesmo para as restantes combinações, a que obtiver o maior valor será a melhor. A combinação “ótima” para o gerenciamento de RCC/RCD naquele canteiro de obra civil vertical, para aquele cenário.

5.2 Diferenças na forma de aplicação do mesmo método (o AHP)

Não é comum descriminarem-se em artigos científicos. Referem-se por tópicos:

1 – Diferença no procedimento de cálculo do λ_{\max} : enquanto que o método de AHP “clássico” determina o valor de λ_{\max} como sendo a média dos valores do vetor (D) = (C)/(W), há quem calcule como somatória dos produtos entre cada um dos elementos de (W) pelo valor da soma da respetiva coluna da matriz de decisão inicial, não normalizada (coluna correspondente ao respetivo critério ou alternativa); 2 – Existem trabalhos com uma “estrutura ramificada”/em “árvore” desde os critérios ou classes de critérios até o nível hierárquico imediatamente inferior (alternativas ou critérios), o que faz com que, a seguir, em vez de se construirem matrizes de comparação entre todos os elementos de um determinado nível e em relação a todos os elementos do nível acima, acabem-se construindo esse tipo de matrizes apenas em relação a uma “família/elemento” do nível imediatamente acima, o que não é o “clássico”/típico no método AHP. Em um 1º trabalho pesquisado, ao seguir-se uma estrutura/modelo tipo “árvore”, quando se chega ao nível 3 (“subcritérios”), acaba-se tendo 4 matrizes de comparação par a par de ordem 3, enquanto seguindo-se a estrutura “clássica” de “linhas intercruzadas” do método ter-se-iam 4 matrizes de ordem 12 (complexidade diferente). Isso acontece também em um 5º trabalho pesquisado, em que para o último dos níveis chega-se a uma única matriz de comparação par a par, de ordem 9, entre os elementos do grupo específico, quando seguindo-se a estrutura “clássica” chegar-se-ia a 3 matrizes desse tipo, uma por cada elemento do grupo prioritário (Recursos Humanos; Legislação e Planejamento; Ações); 3 – Existem casos em que não se segue a escala fundamental de Saaty na valorização dos elementos das matrizes de decisão. Nem seus valores intermediários tampouco. Definem-se valores decimais (casa centesimal inclusive). Embora mantenha-se a reciprocidade dos elementos; 4 – Existem casos em que é estabelecida uma estrutura hierárquica em vários níveis mas em que um (ou mais) deles são “ignorados” no desenvolvimento dos passos do método, passando-se a aplicar o mesmo apenas em níveis hierárquicos inferiores; 5 – Há um caso em que é apresentado fluxograma que pressupostamente serviria para estruturar hierarquicamente os níveis, no qual são estabelecidas conexões entre elementos que

não pertencem a níveis consecutivos (conexões entre elementos hierárquicamente com 2 unidades de diferença); 6 – A não ser que o pesquisador tenha se enganado nos cálculos, existem problemas de consistência em alguns dos trabalhos pesquisados.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS - CONCLUSÕES

Com base em uma revisão bibliográfica, primeiro sobre os RCC/RCD, depois sobre principais instrumentos normativos e legais sobre os mesmos, estágios e objetivos de sua gestão em canteiro de obras, métodos multicriteriais de apoio à decisão, e pesquisa realizada incidindo sobre 4 artigos científicos e uma dissertação sobre o método multicriterial AHP (incluindo recálculos de conteúdos/resultados), para uma sólida compreensão acerca do funcionamento desse método multicriterial, foi possível concluir acerca da existência de diferenças na forma de aplicação do mesmo. Foi estruturada e elaborada uma proposta de aplicação do AHP, em quatro níveis hierárquicos, definindo o objetivo/meta do problema, as classes de critérios e respetivos critérios/subcritérios dentro de cada um deles, e as alternativas para uma boa gestão de RCC em canteiros de obras verticais.

Essa estrutura inclui a consideração de critérios ambientais, sociais, econômicos, legislativos, estratégicos e operacionais, e resulta em 36 combinações de ações a serem realizadas no gerenciamento de RCC/RCD, as quais são as alternativas para o problema. Uma recomendação deste artigo diz respeito à atribuição de pesos por profissionais especialistas na área, para que o sistema possa ser validado. Durante o estudo também foi possível concluir que o método AHP comporta um certo grau de subjetividade (na definição de critérios e na atribuição de pesos em matrizes). Este artigo apresentou resultados parciais que fazem parte de uma pesquisa de doutorado.

Considerando as limitações do trabalho, sugere-se o desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão (SAD), para otimizar a gestão de RCC/RCD em canteiros verticais, para uso por parte de empresas de construção civil no país.

7 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro prestado a este trabalho.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15112**: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15113**: Resíduos sólidos da

construção civil e resíduos inertes - Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15114**: Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15115**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116**: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.

BRASIL (2010). **Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional dos Resíduos Sólidos.** DOU, Brasília, DF. Agosto de 2010.

BRASIL (2002). **Resolução CONAMA nº 307 de 05 de Julho de 2002.** Dispõe sobre Gestão dos Resíduos da Construção Civil.

BRASIL (2004). **Resolução CONAMA nº 348.** Modifica a Resolução CONAMA nº 307 de 05 de Julho de 2002, incluindo o amianto na classe dos resíduos perigosos. DOU, Brasília, DF. Agosto de 2004.

BRASIL (2011). **Resolução CONAMA nº 431 de 25 de maio de 2011.** Altera o art. 3º da Resolução CONAMA nº 307 de 05 de Julho de 2002, estabelecendo nova classificação para o gesso. DOU, Brasília, DF. 2011.

BRASIL (2012). **Resolução CONAMA nº 448, de 19 de Janeiro de 2012.** Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. DOU, Brasília, DF. 2012.

BRASIL (2015). **Resolução CONAMA nº 469, de 29 de Julho de 2015.** Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. DOU, Brasília, DF. 2015.

BRUM, F. M. Implantação de um programa de gestão de resíduos da construção civil em canteiro de obra pública: o caso da UFJF. Juiz de Fora: UFJF, 2013. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys.** New York: Springer, 2005. 1004 p. (International Series in Operations Research & Management Science).

LORDÉLO, P. M.; EVANGELISTA, P. P. A.; FERRAZ, T. G. A. **Programa de gestão de resíduos em canteiros de obras: método, implantação e resultados.** In: Programa de Gestão de Resíduos da Construção Civil, SENAI/BA, 2006.

MARQUES NETO, J. C. **Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição da bacia hidrográfica do Turvo Grande (UGRHI-15).** São Carlos: EESC, 2009. 665 p. Tese (Doutorado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

OLIVEIRA, C. A. de; BELDERRAIN, M. C. N. Considerações sobre a obtenção de vetores de prioridades do AHP. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), 2008.

POLATIDIS, H. et al. Selecting an appropriate multi-criteria decision analysis technique for renewable energy planning. **Energy Sources**, Part B, v. 1, p. 181-193, 2006.

RODRIGUEZ, D. S. S.; COSTA, H. G.; CARMO, L. F. R. R. S. do Métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados a problemas de PCP: Mapeamento da produção em periódicos publicados no Brasil. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v. 20, n. 1, p. 134-146, 2013.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. Editora McGraw Hill Ltda. São Paulo, 1991.

SAATY, T. L. Some Mathematical Concepts of the Analytic Hierarchy Process. **Behaviormetrika**, v. 29, p. 1-9, 1991.

TAVARES, L. P. M. **Levantamento e análise da deposição e destinação de resíduos da construção civil em Ituiutaba/MG**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia. 2007.

VARGAS, R.V. **Utilizando a programação multicritério (analytic hierarchy process – AHP) para selecionar e priorizar projetos na gestão de portfólio**. Hpublicações PMI Global Congress 2010 – North America. Washington – DC – EUA – 2010.

VENTURA, K. S. **Modelo de avaliação do gerenciamento de resíduos de serviços de saúde (RSS) com uso de indicadores de desempenho. Estudo de caso: Santa Casa de São Carlos – SP**. São Carlos: USP. 2009. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE NIVELAMENTO GEOMÉTRICO, TRIGONOMÉTRICO E POR GNSS EM UMA RODOVIA

Kézia de Castro Alves

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável da Universidade Estadual de Goiás, São Luís de Montes Belos, Goiás.

Francisca Vieira Nunes

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Curso Superior de Tecnologia em Agrimensura, Goiânia, Goiás.

Guilherme Ferreira Gonçalves

Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Curso Superior de Tecnologia em Agrimensura, Goiânia, Goiás.

Fábio Campos Macedo

Curso Superior de Tecnologia em Agrimensura do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, Goiás.

Pedro Rogério Giongo

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável da Universidade Estadual de Goiás, São Luís de Montes Belos, Goiás.

qualidade nos resultados. Dentre as subáreas da topografia, podemos citar o nívelamento topográfico, o qual possibilita determinar níveis de pontos distintos em relação a um referencial. Para obtenção destes valores, foram utilizadas técnicas como nívelamento geométrico, nívelamento trigonométrico (*Leap-Frog*) e nívelamento por GNSS, que foram detalhadas e aplicadas num trecho de aproximadamente 4 km, na GO-020, entre os municípios de Goiânia e Bela Vista de Goiás, GO. O nívelamento geométrico foi adotado como testemunha (correto) para analisar os demais métodos, com isso pode-se perceber que para cada demanda há um tipo específico de nívelamento. A precisão obtida entre os três métodos é relativamente próxima, os nívelamentos trigonométrico e geométrico necessitam de maior tempo para a execução e um custo em média 75% menor que o nívelamento por GNSS.

PALAVRAS-CHAVE: *Leap-Frog*, Nívelamento, Topografia.

COMPARISON BETWEEN THE METHODS OF GEOMETRIC TRIGONOMETRIC LEVELING, AND GNSS IN A STRETCH

ABSTRACT: With the high demand of topographical services for various types of joint ventures, arise every day new technologies and techniques related to geomensura. With this,

RESUMO: Com a grande demanda de serviços topográficos para diversos tipos de empreendimentos, surgem a cada dia novas tecnologias e técnicas relacionadas à geomensura. Com isto, há um constante questionamento entre os profissionais da área, sobre as melhores formas de executar estes serviços, a fim de obter melhor precisão e

there is a constant questioning among professionals in the area, on the best ways to perform these services, in order to obtain better accuracy and quality in the results. Among the sub areas of topography, we can cite the topographic leveling, which makes it possible to determine levels of distinct points in relation to a benchmark. To obtain these values, were used techniques such as geometric leveling, trigonometric leveling (Leap-Frog) and leveling by GNSS, which were detailed and applied in a stretch of approximately 4 km, on the GO-020, between the municipalities of Goiânia and Bela Vista de Goiás, GO. The geometric leveling has been adopted as a witness (correct) to analyze the other methods, so you can realize that for each demand there is a specific type of leveling. The accuracy obtained among the three methods is relatively close, the trigonometric leveling and geometric require more time for the execution and a cost on average less than 75% the levelling GNSS.

KEYWORDS: *Leap-Frog, Leveling, Topography.*

1 | INTRODUÇÃO

O nivelamento é uma técnica de levantamento topográfico utilizado para a determinação do desnível de um ponto no terreno, podendo o mesmo ser denominado cota, quando a superfície de referência for um plano arbitrário, é nomeado altitude, baseando-se na distância vertical em relação ao nível médio dos mares (topografia) ou uma superfície matemática denominada elipsoide de revolução (geodesia) (DAIBERT, 2018).

A técnica de nivelamento pode ser dividida em quatro tipos específicos, ou seja, nivelamento trigonométrico, geométrico, barométrico e por GNSS (*Global Navigation Satelite System*). Estas técnicas se diferenciam principalmente no método de determinação dos níveis, aquisição de dados, suas precisões e nos tipos de equipamentos utilizados no processo (GONÇALVES et al., 2012).

No nivelamento trigonométrico ou indireto, o desnível é obtido pela determinação de um ângulo zenital, sua distância inclinada e as alturas de instrumento e do refletor, sendo os pontos pertencentes a um plano vertical, este método é realizado utilizando teodolitos ou estações totais. O nivelamento barométrico é obtido a partir da relação entre a altitude e a pressão atmosférica através de um instrumento chamado barômetro, porém é pouco usual (FERREIRA et al., 2019).

Já no nivelamento geométrico ou direto, os desníveis são determinados a partir de visadas horizontais feitos com nível de luneta em miras verticais. O nivelamento por GNSS tem com referência uma figura matemática que representa o globo terrestre (elipsoide de revolução), podendo então obter coordenadas geodésicas, ou seja, latitude, longitude e altitude geométrica (h) em cada ponto (MONICO, 2008).

Outra questão que difere os tipos de nivelamento é a precisão que cada um fornece. O nivelamento geométrico apresenta precisões, que variam de acordo com o processo de obtenção dos níveis, a primeira sendo ≤ 1 mm/km (Alta precisão) e

a segunda ≤ 1 cm/km (Ordinário). Já o nivelamento trigonométrico apresenta uma precisão ≤ 1 dm/km e o nivelamento barométrico ≤ 1 m/km (FONTE e VICENTE, 2007).

Segundo a NBR 13.133 (ABNT, 1994), o nivelamento pode ser dividido também em quatro classes que se diferenciam de acordo com a função do mesmo, são elas:

- a) Classe IN - Nivelamento geométrico para implantação de referências de nível (RN) de apoio altimétrico;
- b) Classe IIN - Nivelamento geométrico para determinação de altitudes ou cotas em pontos de segurança (PS) e vértices de poligonais para levantamentos topográficos destinados a projetos básicos, executivos, como executado, e obras de engenharia;
- c) Classe IIIN - Nivelamento trigonométrico para determinação de altitudes ou cotas em poligonais de levantamento, levantamento de perfis para estudos preliminares e/ou de viabilidade em projetos;
- d) Classe IVN - Nivelamento taqueométrico destinado a levantamento de perfis para estudos expeditos.

Com diversas ramificações advindas do nivelamento topográfico, muito se questiona sobre qual a técnica deve ser mais viável financeiramente, operacionalmente, em tempo de execução e com melhor qualidade e precisão para cada finalidade. Contudo, o presente trabalho teve como objetivo discutir estas e outras questões relacionadas, a fim de auxiliar no cotidiano do profissional da área de geomensura, realizando o nivelamento em um trecho de 4km da rodovia GO-020, entre os municípios de Goiânia e Bela Vista de Goiás, GO.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Todos os pontos levantados e nivelados neste trabalho estão localizados dentro de uma área de estudo de aproximadamente 4 km, localizada no km 30 da GO-020, em trecho que liga a cidade de Goiânia à Bela Vista de Goiás. Os pontos foram alocados no eixo da ciclovia (pontos estes materializados com prego no asfalto e sinalizados com tinta para que os dados de todos os métodos fossem obtidos no mesmo local), mantendo assim, maior segurança possível para os operadores durante o desenvolvimento do trabalho de campo.

Devido às precisões definidas para o estudo, os levantamentos foram feitos em períodos em que a influência da temperatura pode-se considerar mínima, ou seja, entre os horários de 06h as 09h da manhã ou das 16h às 18h da tarde. Como foram realizados os tipos de nivelamentos trigonométrico, geométrico e por GNSS, utilizaram-se também três equipamentos de medição: estação total, nível geométrico eletrônico e receptor GNSS, respectivamente, conforme metodologia de Gonçalves et al. (2012).

2.1 Nivelamento Trigonométrico

O nivelamento trigonométrico foi realizado utilizando os parâmetros de uma metodologia de levantamento chamada *Leap-Frog*. Utilizando uma estação total da

marca GeoMax modelo Zoom 20, com a precisão linear de +/- 2 mm + 2ppm, leitura mínima de 1" e precisão de 5".

Com o equipamento instalado em local intermediário entre dois pontos, foram realizadas visadas ré e vante com distância de aproximadamente 250 metros e utilizando o método de iteração nas leituras, sendo as mesmas, repetidas dez vezes variando entre posição direta (5 vezes) e posição inversa da luneta (5 vezes) na estação. Para auxiliar na verticalização do prisma e evitar oscilação na posição e diferença nas leituras, foi utilizado um tripé de prisma.

Todos os valores encontrados foram anotados manualmente pelo operador, sendo realizados os cálculos através de planilhas eletrônicas. Após o cálculo dos desniveis entre os pontos, foi realizado um ajustamento de dados a partir do método paramétrico, amenizando assim erros grosseiros, sistemáticos e acidentais.

2.2 Nivelamento Geométrico

O nivelamento geométrico foi realizado com um nível digital óptico Trimble modelo DiNi 0.3, com medição eletrônica; mira de código de barras padrão: 1,0 mm; medição visual: 1,5 mm, no caso específico deste trabalho a mira utilizada foi com código de barra de 4 metros de altura do fabricante Xpex, fixada sob uma sapata de ferro que foi utilizada para demarcar o exato local de posicionamento da mira, evitando que a mesma oscilasse durante as leituras de ré e vante.

A cada 500 metros foram realizados o nivelamento e contra nivelamento, para ter melhor controle em relação aos fechamentos, sendo estes inferiores a 5 mm. As visadas foram de aproximadamente 30 metros para ré e 30 metros para vante, conforme recomendado na Resolução PR nº 22 (21/07/1983) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos, à qual estabelece que as visadas de ré e vante devem ser equidistantes e inferiores a 100 metros de distância, para compensar os efeitos da curvatura terrestre e da refração (BRASIL, 1983).

A altitude do ponto inicial foi obtida através de um receptor GNSS, sendo convertida em altitude ortométrica. A partir das leituras de diferenças de níveis foi possível determinar as altitudes dos demais pontos intermediários pertencentes à poligonal (no total, sete pontos) com base nos cálculos que foram desenvolvidos anteriormente. Como o nivelamento geométrico é considerado pela NBR 13.133 (ABNT, 1994) o de maior precisão, foi levado em consideração como principal método para fazer a comparação com as demais altitudes obtidas nos outros nivelamentos realizados.

2.3 Nivelamento por GNSS

No nivelamento por receptor GNSS foi utilizado um equipamento da marca Trimble modelo R4, um sistema de 220 canais com a tecnologia de rastreamento de satélite Trimble R-Track, capacidade de rastrear sinais L1/L2 e L2C (GPS e GLONASS), rádio

interno e com precisões de 3 mm + 0,1 ppm RMS na Horizontal e 3,5 mm + 0,4 ppm RMS na Vertical.

O levantamento foi realizado a partir do método estático, no qual a base (coordenadas conhecidas) foi colocada em um local aleatório, com menor quantidade de obstruções, para evitar erros de propagação do sinal. O receptor móvel foi deslocado pelos pontos da poligonal, onde fora instalado coletando dados por um período de 20 minutos em cada ponto.

Os dados coletados pelo receptor foram descarregados com o programa Data Transfer 1.56, convertido para o modo RINEX com o Convert To RINEX_RINEV 2.11 e processados no programa Topcon Tools 7.5.1. A determinação das coordenadas do ponto base foi realizada pelo método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) disponibilizado pelo IBGE, levando então todos os pontos restantes para este mesmo referencial.

Com isso, obtém-se as coordenadas geográficas do local, referenciados em um elipsoide, porém a altitude mais utilizada para serviços geodésicos é a altitude ortométrica, que é ligada ao nível médio dos mares. Para isso foi necessário à utilização do software MAPGEO2015 disponibilizado pelo IBGE, para conversão dessas altitudes, o qual aplica a ondulação geoidal a cada altitude de ponto, para obter a altitude ortométrica.

2.4 Ajustamento

Após a coleta de dados em campo no nívelamento trigonométrico e no geométrico, e o cálculo dos desníveis entre os pontos, foi realizado um ajustamento das observações. Este foi realizado utilizando o método paramétrico ou de observações indiretas, de Dalmolin (2002) e Gemael et al. (2016), no qual as grandezas que se procuram ligam-se, matematicamente, as medidas obtidas de forma direta.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base em análises realizadas, fundamentadas na NBR 13.133 (Classe IIN), adotou-se o método de nívelamento geométrico como o mais preciso e como base para a comparação com os outros métodos. Assim, na Tabela 1, tem-se a demonstração dos desníveis obtidos em cada nívelamento: Nívelamento Geométrico (NVG), Nívelamento GNSS (NVGNSS), Nívelamento Trigonométrico (NVT) e também a diferença entre eles em relação ao primeiro.

A partir dos conceitos abordados no trabalho, e os resultados obtidos na comparação feita entre os três tipos de nívelamento, considerados, com base nas normativas estudadas, como sendo satisfatórios.

Sub trechos	Desníveis			NVG - NVGNSS	NVG - NVT
	NVG	NVGNSS	NVT		

SAT 3 - E7	-15,6874	-15,7060	-15,6784	0,0186	-0,0090
E7 - E6	1,4343	1,4420	1,4330	-0,0077	0,0013
E6 - E5	-13,1618	-13,1700	-13,1590	0,0082	-0,0028
E5 - E4	-5,5045	-5,4950	-5,5175	-0,0095	0,0131
E4 - E3	-6,7442	-6,7370	-6,7319	-0,0072	-0,0123
E3 - E2	9,0011	9,0010	9,0060	0,0001	-0,0048
E2 - E1	15,8132	15,8070	15,8068	0,0062	0,0064
E1 - SAT 2	18,3482	18,3570	18,3400	-0,0088	0,0082

Tabela 1 - Desníveis obtidos por Nivelamento Geométrico (NVG), Nivelamento GNSS (NVGNSS), Nivelamento Trigonométrico (NVT) e a diferença destes em relação ao Nivelamento Geométrico (NVG). Goiânia/GO, 2018.

Na Figura 1, é possível observar o perfil do terreno através das altitudes obtidas pelo Nivelamento Geométrico.

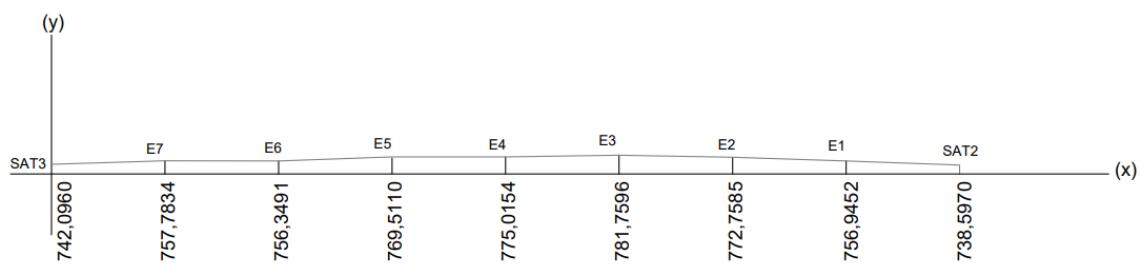


Figura 1 - Perfil do terreno a partir do Nivelamento Geométrico. Fonte: Os autores, 2018.

Observa-se na Tabela 2, que o desvio padrão de 0,0025 m e -0,0049 m para as discrepâncias altimétricas obtidas entre os nivelamentos indicam que os dados apresentam homogeneidade.

Parâmetros	NVG - NVGNSS	NVG - NVT
Desvio Padrão	0,0025	-0,0049
Máxima discrepância positiva (m)	0,0186	0,0131
Máxima discrepância negativa (m)	-0,0095	-0,0123
Nº discrepância > 1cm	1	2
	12,50%	25,00%

Tabela 2 – Análise estatística entre os levantamentos Geométrico com o GNSS e Trigonométrico.

Nota-se que 12,50% das discrepâncias altimétricas entre o nivelamento geométrico com o nivelamento por GNSS tiveram valor maior que um centímetro, e nas discrepâncias altimétricas entre o nivelamento geométrico com o nivelamento trigonométrico esse valor foi de 25,00%, garantindo assim a precisão desejada.

Na técnica de nivelamento por GNSS, houve a necessidade de permanecer por aproximadamente 20 minutos em cada ponto. Num total de 9 pontos, totalizaram entre 3 e 4 horas de execução em campo, mas deve-se atentar para a diferença de referencial.

Dentre os tipos de nivelamento utilizados neste trabalho, o geométrico foi o método que demandou maior tempo de campo, devido às visadas com pouca distância entre os pontos (a cada 30 metros), e aos horários em que foram realizados os levantamentos (entre 06 e 09 da manhã e 16 e 18 da tarde) para garantir menor influência da incidência solar. Já o nivelamento trigonométrico obteve-se um tempo razoável, pois as distâncias entre os pontos eram equivalentes a 500 metros para cada estação de visadas, tornando assim mais rápido o levantamento de dados para o percurso.

Para os nivelamentos geométrico e trigonométrico, é preciso que se conheça a fundo a técnica de execução em campo e processamento dos dados para ajustamento, pois é tratado de forma manual e minuciosa, pois há maior probabilidade de ocorrer erros grosseiros (causados pelo operador), já com o GNSS, por ser o método que possui maior tecnologia embutida, tudo é operado em meio computacional e utilizando softwares para processamento.

Atualmente se for levado em consideração a tecnologia, praticidade, na busca por estar sempre facilitando o trabalho de seus profissionais, o método mais prático de ser realizado foi o nivelamento por GNSS, o qual exigiu uma equipe menor em campo e com maior agilidade.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para analisar o método mais viável, deve ser observado pelo profissional o custo de aquisição dos equipamentos, tempo de execução do trabalho, aprimoramento da técnica, conhecimento da área em estudo e processamento dos dados além da precisão.

Levando em consideração uma breve pesquisa de mercado, nota- se que o valor para aquisição ou locação do equipamento utilizado na técnica por GNSS é em média 75% maior se comparado ao Nível Eletrônico (geométrico) e a Estação total (trigonométrico), porém na técnica de nivelamento por GNSS, o tempo gasto foi menor, seguido do nivelamento trigonométrico e posteriormente o nivelamento geométrico, como sendo o método mais lento.

Considerando que a precisão dos nivelamentos por GNSS e trigonométrico atende aos padrões da NBR 13.133, o método mais prático de ser execução foi o nivelamento por GNSS, o qual exigiu uma menor equipe em campo, tendo também como vantagem não necessitar a visibilidade entre os pontos, ou seja, não há necessidade de visualização entre o receptor da base e o receptor móvel.

REFERENCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico.** Rio de Janeiro, 1994. p. 35.

BRASIL, IBGE. **Especificações e normas gerais para Levantamentos Geodésicos: R. PR. N°22.** -

Instituo Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 1983. p. 62.

DAIBERT, J. D. **Topografia–Técnicas** e Práticas de campo. Editora Saraiva, 2018. p. 120.

DALMOLIN, Q. **Ajustamento por mínimos quadrados**. Edição Revisada. Curitiba: Imprensa da UFPR, 2002. p. 174.

FERREIRA, Z. A.; RABÉLO, J. P.; BORGES, L. E. O.; GOMES, M. G. B. C.; CASTRO, G. M. C. **Análise comparativa entre métodos de determinação de desníveis: Nivelamento geométrico e posicionamento em tempo real (RTK)**. Revista Sítio Novo, v. 3, n. 1, p. 75-82, 2019.

FONTE, C. M. P.; VICENTE, M. A. F. **Textos de Apoio de Topografia. Departamento de Matemática**. Faculdade de Ciência e Tecnologia. Universidade de Coimbra, 2007. p. 99.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L., WANDRESEN, R. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. 2. e. Editora UFPR: Curitiba, 2016. p. 430.

GONÇALVES, J. A.; MADEIRA, S.; SOUSA, J. J. **Topografia: Conceitos e Aplicações**. 3. Ed. Lisboa: Lidel, 2012. p. 357.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento Pelo GNSS, Descrição Fundamentos e Aplicações**. 2. e. São Paulo: Unesp, 2008. p. 480.

CAPÍTULO 16

USO DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL NO MAPEAMENTO DA VARIABILIDADE ESPACIAL DE MILHETO

Antônio Aldisio Carlos Júnior

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em
Manejo de Solo e Água. Mossoró – Rio Grande do
Norte.

Neyton de Oliveira Miranda

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Professor associado do Departamento de
Ciências Agrárias. Mossoró – Rio Grande do
Norte.

Jonatan Levi Ferreira de Medeiros

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Doutorando do Programa de Pós-Graduação em
Manejo de Solo e Água. Mossoró – Rio Grande do
Norte.

Suedêmio de Lima Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Professor associado do Departamento de
Engenharia e Ciências Ambientais. Mossoró – Rio
Grande do Norte.

Paulo César Moura da Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Professor associado do Departamento de
Engenharia e Ciências Ambientais. Mossoró – Rio
Grande do Norte.

Erilan Tavares Costa Leitão

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Mestrando do Programa de Pós-Graduação em
Manejo de Solo e Água. Mossoró – Rio Grande do
Norte.

Ana Beatriz Alves de Araújo

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em

Manejo de Solo e Água. Mossoró – Rio Grande do
Norte.

Priscila Pascali da Costa Bandeira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Graduanda do curso de Engenharia Agrícola e
Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Poliana Maria da Costa Bandeira

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Graduanda do curso de Engenharia Agrícola e
Ambiental. Mossoró – Rio Grande do Norte.

Gleydson de Freitas Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em
Manejo de Solo e Água. Mossoró – Rio Grande do
Norte.

Isaac Alves da Silva Freitas

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Mestre em Manejo de Solo e Água. Mossoró – Rio
Grande do Norte.

Thaís Cristina de Souza Lopes

Universidade Federal Rural do Semi-Árido,
Doutora em Manejo de Solo e Água. Mossoró –
Rio Grande do Norte.

RESUMO: O uso de imagens de satélites para monitoramento do comportamento espacial da vegetação é uma ferramenta essencial para o planejamento dos processos produtivos, pois permite um diagnóstico das condições de campo e aponta a necessidade de intervenção em zonas específicas. No entanto, a aplicação

dessas imagens em escala de propriedade rural é restrita devido à exigência de alta resolução espacial. Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo mapear a variabilidade espacial em área de pivô central com o uso de imagens do satélite sentinel 2B e utilizar técnicas geoestatísticas para obter índices de vegetação em resolução espacial de 1 m. Inicialmente as imagens foram submetidas à pré-processamento para correção atmosférica para, em seguida, ser obtidos o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI, o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI e o Índice de Área Foliar - IAF. Posteriormente, os valores dos índices de vegetação - IV, representados pelos pixels com resolução espacial de 10 m, foram extraídos e transformados em pontos. Para o mapeamento dos índices em resolução espacial de 1 m os dados foram submetidos à estatística descritiva e krigagem ordinária. Os resultados apontam que todos os IV foram eficientes na delimitação da variabilidade espacial, constituindo, portanto, uma ferramenta importante para auxiliar em práticas de agricultura de precisão e que a geoestatística mostrou-se viável para obtenção de índices com alta resolução espacial.

PALAVAS-CHAVE: Agricultura de precisão, Índices de vegetação, Geoestatística.

USE OF ORBITAL REMOTE SENSING IN THE MAPPING OF THE MILLET SPACE VARIABILITY

ABSTRACT: The use of satellite images for monitoring the spatial behavior of vegetation is an essential tool for the planning of productive processes, since it allows a diagnosis of the field conditions and points out the need for intervention in specific areas. However, the application of these images in rural property scale is restricted because of to the requirement for high spatial resolution. In this context, the present work had the objective of mapping the spatial variability in central pivot area with the use of satellite sentinel 2B images and using geostatistical techniques to obtain vegetation indexes in spatial resolution of 1 m. Initially, the images were submitted to pre-processing for atmospheric correction to obtain the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) and the Leaf Area Index - LAI. After, the values of the vegetation indexes - VI, represented by the pixels with spatial resolution of 10 m, were extracted and transformed into points. For the mapping of indexes in spatial resolution of 1 m the data were submitted to descriptive statistics and ordinary kriging. The results indicate that all VI were sensitive in the spatial variability delimitation, constituting an important tool to assist in precision agriculture practices and that geostatistics was viable to obtain indices with high spatial resolution.

KEYWORDS: Precision agriculture, Vegetation index, Geostatistics.

1 | INTRODUÇÃO

O conhecimento da variabilidade espacial de culturas é um elemento essencial no planejamento dos sistemas de produção. O acúmulo de biomassa de uma cultura de forma heterogênea em uma área de plantio é resultante da complexa dinâmica

espacial das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, bem como da falta de uniformidade nos sistemas de manejo, os quais utilizam insumos aplicados em concentrações médias, desprezando o fator espacial.

Dessa forma, o estudo da variabilidade espacial da cultura é fundamental para o entendimento dos fatores que determinam a expressão do potencial produtivo da cultura e sua variabilidade em uma área agrícola, o que pode levar ao desenvolvimento de práticas de manejo sítio-específicas, visando à maximização do potencial produtivo em diferentes zonas da lavoura (VIAN et al., 2016).

A predição da variabilidade espacial da cultura pode ser realizada de forma convencional, em que as informações são obtidas em unidades amostrais de forma manual e ou com subsídios de máquinas agrícolas. No entanto, estas técnicas demandam tempo e recursos financeiros que, por muitas vezes, não são acessíveis aos produtores.

Como técnica alternativa, os produtos de Sensoriamento Remoto, tais como imagens de satélite, podem fornecer informações precisas da variabilidade do campo, em grandes áreas, por apresentarem potencial para o monitoramento de parâmetros biofísicos ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento da cultura (MOTOMIYA et al., 2012).

A utilização de sensoriamento remoto para avaliar espacialmente as culturas está associada a interação da energia eletromagnética com as folhas e dossel. A partir dessa interação, são obtidos índices de vegetação que expressam o vigor da planta. Os índices são oriundos da reflectância de bandas espectrais (PONZONI et al., 2012).

As características espectrais das folhas verdes são altamente absorventes dos comprimentos de onda visíveis amarelos e vermelhos do espectro eletromagnético, mas altamente refletivas nos comprimentos de onda do infravermelho próximo. As respostas espectrais da vegetação são modificadas com base na densidade da folha e na estrutura do dossel. As diferenças relativas nas características espectrais vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR) formam a base de vários índices de vegetação, que são projetados para avaliar a condição da vegetação (LIU et al., 2016).

Várias pesquisas já utilizaram índices de vegetação na agricultura, a exemplo da correlação de índices com atributos do solo (ZANZARINE et al., 2013), estimativa da produtividade agrícola (BERTOLIN, et al. 2017), avaliação do estresse hídrico (SAYAGO et al., 2017) e predição da biomassa (COELHO et al., 2018).

Em todas essas pesquisas conclui-se que os índices de vegetação são uma ferramenta poderosa que auxilia no processo de tomada de decisão. No entanto, quando se estuda áreas pequenas, os índices de vegetação obtidos das imagens orbitais apresentam restrições devido a resolução espacial. Assim, pode-se empregar técnicas geoestatísticas para reamostrar a resolução espacial de modo a obter um mapa que possa distinguir a variabilidade da cultura por meio de índices de vegetação.

Ante o exposto, o estudo tem por objetivo mapear a variabilidade espacial de cultura em pivô central por meio de imagens de satélites orbitais com auxílio de

técnicas geoestatísticas.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado em área de 9 hectares, irrigada por pivô central, inserida na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural do Semi-Árido-UFERSA, situada no município de Mossoró/RN, sob as coordenadas geográficas 677603 de longitude oeste e 9441076 de latitude sul, datum WGS84, Zona 24S (Figura 1).

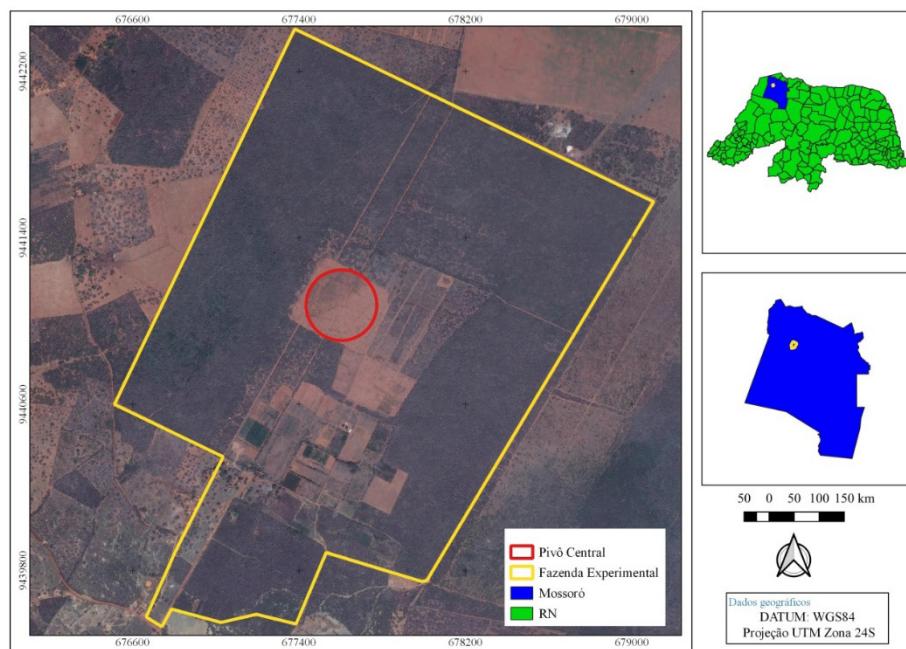


Figura 1 - Área de estudo.

O solo da área de trabalho é classificado como Argissolo. O clima do município do Mossoró, RN, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, é do tipo BSw' (CARMO-FILHO et al., 1991), que significa: clima seco, com evapotranspiração potencial anual superior à precipitação anual; precipitação anual total média compreendida entre 380 e 760 mm; estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono; e temperatura média anual do ar maior que 18 °C.

Na área de estudo, o Milheto (*Pennisetum purpureum* Schum.) foi cultivado na metade do pivô central situada na área leste. A outra metade do pivô (lado esquerdo) estava sob-rotação com presença de vegetação espontânea em pequenos fragmentos.

2.2 Aquisição e processamento das imagens

A variabilidade espacial da cultura foi mapeada com o uso da imagem do satélite sentinel 2B obtidas no banco de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS. Para confecção dos índices de vegetação, foram utilizadas as bandas

correspondentes ao vermelho (B4) e Infravermelho próximo (B8) com resolução espacial de 10 m e comprimentos de ondas centrais correspondentes, respectivamente a 665 e 842 nanômetros.

As bandas B4 e B8 foram obtidas no nível 1C de processamento que corresponde à reflectância no topo da atmosfera e que segundo Drusch et al. (2012) indica que as imagens passaram por conversão radiométrica e foram submetidas a correção geométrica. Posteriormente, as imagens foram convertidas para refletância na baixa atmosfera por meio do algoritmo *Dark Object Subtraction* - DOS1 presente no plugin de classificação semiautomática do software QGIS 2.18.

Para obter índices de vegetação de melhor acurácia, a data da escolha da imagem levou em consideração a presença de nuvem, bem como o estádio de desenvolvimento da cultura. Assim, as imagens de 25/07/2018 foram utilizadas, pois nessa data foi observada nenhuma nebulosidade na área de estudo e, visualmente, a cultura se distribuía espacialmente de forma heterogênea em avançado estádio de desenvolvimento.

2.3 Obtenção dos Índices de Vegetação - IV

Para a análise da distribuição espacial da vegetação foram empregados o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI (ROUSE et al., 1973), o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo - SAVI (HUETE, 1988) e o Índice de Área Foliar - IAF (ALLEN et al., 2002).

O NDVI é a razão entre a diferença das reflectividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho e pela soma dessas bandas. O NDVI é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1, conforme Eq 1.

$$NDVI = \frac{B8-B4}{B8+B4} \quad (1)$$

Em que: B8 e B4 são os valores da reflectância das bandas vermelho e infravermelho próximo do satélite Sentinel 2B.

O SAVI é um índice que tem por objetivo ajustar o NDVI a partir da inserção de uma variável que representa a influência da reflectância do solo exposto. O cálculo é realizado conforme Eq. 2.

$$SAVI = \frac{(1+Ls)(B8-B4)}{Ls+B8+B4} \quad (2)$$

Em que: Ls é uma constante denominada fator de ajuste do índice SAVI, podendo assumir valores de 0,25 a 1 dependendo da cobertura do solo. Conforme Huete (1988) um valor para Ls de 0,25 é indicado para vegetação densa, de 0,5

para vegetação com densidade intermediária, e o valor 1 para vegetação com baixa densidade. No estudo foi utilizado o valor de de L_s igual a 0,5.

O IAF é um índice biofísico definido pela razão entre a área foliar de uma vegetação por unidade de área utilizada por esta vegetação, sendo um indicador da biomassa de cada pixel da imagem, computado pela Eq. 3.

$$IAF = -\frac{\ln(\frac{0.69-SAVI}{0.59})}{0.91} \quad (3)$$

Todos os índices foram calculados nas bandas com resolução espacial de 10 m. Para uma melhor representação da variabilidade espacial, os IV foram redimensionados para uma resolução espacial de 1m. por meio de técnicas geoestatísticas.

Para emprego da geoestatística, os pixels contendo os valores dos índices de vegetação foram transformados em pontos com o auxílio do algoritmo *r.to.vecto* do software Grass 7 integrado ao QGIS 2.18. Em seguida, foram extraídas as coordenadas geográficas de cada ponto, as quais juntamente com os valores de IV compunham a tabela de atributos do shapefile que posteriormente foi transferida para planilha do Excel para inserção no software geoestatístico.

Inicialmente, os valores dos IV foram analisados através da estatística descritiva, tendo sido calculados a média, mediana, máximo, mínimo, desvio padrão, assimetria, curtose, coeficiente de variação e teste de normalidade. Para a classificação da variabilidade dos atributos foram adotados os limites de coeficiente de variação (CV) propostos por Warrick e Nielsen (1980), sendo baixa ($CV < 12\%$), média ($12\% < CV < 60\%$) e alta ($CV > 60\%$). A hipótese de normalidade foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk (1965) no software GeoR (RIBEIRO JÚNIOR e DIGGLE, 2001).

A análise geoestatística foi realizada no software GS+, no qual se obteve os semivariogramas experimentais conforme modelo de Matheron (1963), calculado a partir da Eq. 4.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

Em que $N(h)$ o numero de pares de valores experimentais medidos em $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$, separados pelo vetor h .

Para o ajuste do semivariograma experimental, foram utilizados os modelos (a) esféricos, $\gamma(h) = C_0 + C_1 [1,5 (h/A) - 0,5 (h/A)^3]$ para $(0 < h \leq A)$ e $\gamma(h) = C_0 + C_1$ para $h > A$; (b) exponencial, $\gamma(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-h/A)]$; e (c) gaussiano, $\gamma(h) = C_0 + C_1 [1 - \exp(-h^2/A^2)]$ em que C_0 é o efeito pepita, C_1 é a variância estruturada, “d” é a distancia máxima na qual o semivariograma é definido “A” o alcance.

O grau de dependência espacial dos semivariogramas ajustados foi avaliado pelo grau de dependência espacial (GD) proposto por Cambardella et al. (1994),

considerando forte dependência para um GD <25%, moderada dependência com 25% < GD < 75% e fraca dependência quando o GD > 75%. O valor de GD é dado pela Eq. 5.

$$GD = \left(\frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) \times 100 \quad (5)$$

Após a escolha dos modelos, a partir do maior valor de R^2 , e verificado se os valores dos IV apresentaram dependência espacial, procedeu-se com a interpolação por meio da Krigagem Ordinária para obtenção dos valores para uma resolução espacial de 1 m, conforme Eq. 6.

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \quad (6)$$

em que $z^*(x_0)$ é a variável interpolada, λ_i são os pesos associados aos pontos vizinhos e $z(x_i)$ o valor da variável no ponto vizinho. A edição dos mapas foi realizada no software QGIS 2.18.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a variabilidade espacial no pivô central obtida pelo NDVI, SAVI e IAF. Observa-se que todos os índices proporcionaram a identificação e mapeamento da variabilidade espacial da cultura por meio da imagem sentinel 2B com resolução espacial de 10 m, bem como permitiu a identificação da área de estacionamento do pivô central, representada pelos pixels em vermelho que formam uma linha no meio da área de estudo. Essas informações reforçam que o uso dessas imagens em áreas de escala local é aplicável e conduz a resultados satisfatórios, corroborando com Vrieling et al. (2018) que concluiu que o uso do Sentinel-2 permite a análise da vegetação com maior precisão em comparação com os sensores de resolução média comumente usados, como o MODIS.

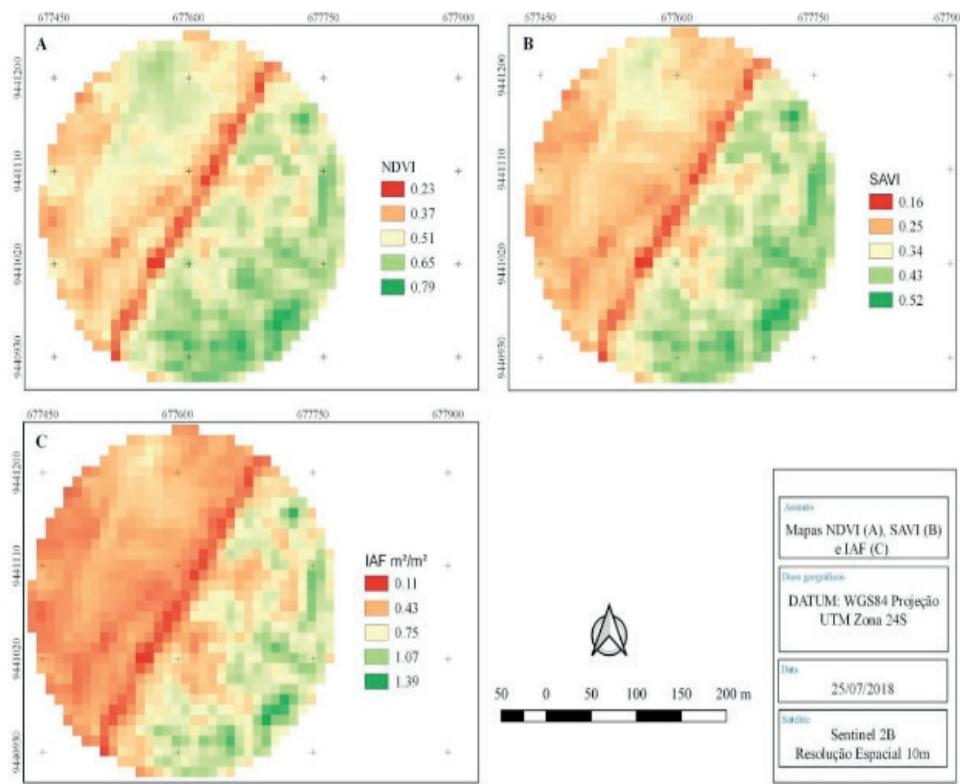


Figura 2 - Mapa NDVI (A), SAVI (B) E IAF(C) de área de pivô central obtidos de imagens do satélite Sentinel 2B.

Ao comparar os valores máximos e mínimos, bem como a variabilidade espacial resultantes do NDVI e SAVI, observa-se que o NDVI (Figura 2A) apresentou os maiores valores com máximo de 0,79, enquanto o SAVI (Figura 2B) com valor máximo de 0,52 suavizou, um pouco, a variabilidade espacial. Apesar das diferenças nos valores dos índices, o comportamento da variabilidade espacial em ambos os índices foi muito semelhante, principalmente na área onde o milheto tinha sido cultivado (lado direito do pivô).

No entanto, ao analisar a área a esquerda do pivô, os índices NDVI e SAVI se mostraram diferentes na detecção da atividade fotossintética da vegetação. Isso provavelmente ocorreu porque nesta área a vegetação era espontânea e resultante da rebrookta de culturas anteriores emergidas devido ao final do período chuvoso da região. Por isso, grande parcela dosolo do solo ficou exposta nesse local, uma vez que o milheto só foi plantado e irrigado na metade do pivô (lado direito). Dessa forma, o SAVI ao acrescentar uma constante ao solo, prediz melhor à variabilidade espacial em áreas menos densas (lado esquerdo do pivô), pois retira o brilho do solo que influencia diretamente nos valores de NDVI.

Neste estudo, os valores que representaram solo exposto foram de 0,16 no SAVI a 0,23 no NDVI, ou seja, os menores valores dos índices de vegetação. Resultado semelhante foi verificado por Ribeiro et al. (2017) que utilizando imagens sentinel em pivô central obteve valores de solo exposto de 0,20 para o NDVI.

Quando avaliado o IAF (Figura 2C), observa-se que o milheto apresentou o maior

índice com 1,39 m²/m² e o menor com 0,43m²/m² (lado direito do pivô), enquanto o valor de 0,11m²/m² representa à vegetação espontânea a esquerda do pivô que contém maior parte do solo totalmente exposto. Esses valores indicam que a cultura se desenvolveu de forma bastante heterogênea na área de cultivo.

A distribuição dos valores do NDVI, SAVI e IAF (Figura 2A, 2B e 2C) permitiu delimitar a existência de deficiência no manejo no pivô central que pode estar associada às condições intrínsecas do solo que não recebeu adubação e correção em taxas variadas, bem como pode, esta variabilidade, ser oriunda do manejo da irrigação e ou tratos culturais.

Os dados estatísticos do NDVI, SAVI e IAF estão apresentados na Tabela 1. Os valores de tendência central (média, mediana, máximo e mínimo) do NDVI e SAVI mostram que os índices diferiram. Essas diferenças estão associadas a grande influência do solo exposto do lado esquerdo do pivô, e de áreas em aberto no lado direito, indicando que a cultura não desenvolveu suficiente para cobrir o solo. Assim o índice de 0,5 inserido no SAVI corrigiu a influência do solo exposto o que justifica os menores valores em comparação ao NDVI.

Índices	Estatística descritiva							
	Méd	Medi	Máx	Mín	D.P	Curt	Assi	CV%
NDVI	0,51	0,50	0,79	0,23	0,10	-0,28	0,00	20,63
SAVI	0,33	0,32	0,52	0,16	0,08	-0,72	0,32	22,94
IAF	0,56	0,50	1,39	0,11	0,25	-0,12	0,73	43,86

Tabela 1 - Estatística descritiva dos índices de vegetação. Méd - Média; Medi - Mediana; Máx - Máximo; Mín - Mínimo; Curt - Curtose, Assi; Assimetria; D.P – Desvio Padrão; CV%- coeficiente de variação; W – Teste de Shapiro-Wilk's; ns - Distribuição não-normal pelo teste de Shapiro-Wilk's (p-valor < 0,05); *- Distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk's (p-valor > 0,05).

Quando avaliadas as medidas de dispersão (D.P, Curt, Assi e CV) (Tabela 1) observa-se que o NDVI e SAVI apresentaram valores semelhantes, enquanto o IAF apresentou valores maiores. De acordo com a classificação de Warrick e Nielsen (1980) ambos os índices apresentaram variação média, indicando que a área do pivô central apresenta heterogeneidade no crescimento da cultura, necessitando de manejo em sítios específicos.

Pelo teste de normalidade de Shapiro-Wilk, o NDVI, SAVI e IAF apresentaram distribuição não normal. De acordo com Lemos Filho et al., (2017) a normalidade dos dados é uma condição desejável para o ajuste dos semivariogramas pela metodologia da máxima verossimilhança, devido ao fato de o ajuste do modelo de semivariograma por essa metodologia não se basear nos pontos do semivariograma e, sim, nas diferenças dos dados originais. No entanto, a normalidade dos dados não é critério restritivo ao emprego da interpolação por krigagem.

Os parâmetros dos semivariogramas são apresentados na Tabela 2. O melhor

modelo de ajuste dos dados para todos os índices de vegetação foi o esférico com coeficientes de determinação de 0,99. Esses resultados são semelhantes aos obtidos em outros estudos que, ao analisarem o NDVI, SAVI e IAF por técnicas geoestatísticas, encontraram o modelo esférico o mais adequado para modelar os respectivos dados (BERNARDI et al., 2017; BERNARDI et al., 2014; DA SILVA et al., 2018; MARINO; ALVINO, 2015).

Atributo	Modelo	Co	Co+C1	A (m)	GD(%)	Class	R ²
NDVI	Esférico	0,0017	0,012	169	13,7	Forte	0,99
SAVI	Esférico	0,0005	0,0080	292	6,2	Forte	0,99
IAF	Esférico	0,0064	0,098	368	6,5	Forte	0,99

Tabela 2 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas ajustados para o NDVI, SAVI e IAF. C0 - Efeito pepita; C0 + C1 - patamar; A - Alcance; GD - Grau de dependência espacial (C1/C0 + C1); Class - Classificação; R²- coeficiente de determinação.

Diante do exposto, verifica-se que o NDVI, SAVI e IAF, de maneira geral, têm uma tendência de ser modelado de modo mais acurado pelo modelo esférico, haja vista que os trabalhos citados foram realizados em condições totalmente diferentes deste, principalmente em termos de cultura e dados orbitais utilizados.

Já em relação ao grau de dependência espacial, de acordo com os critérios de Cambardella et al. (1994) todos os índices apresentaram forte dependência, evidenciando que o emprego da krigagem para estimar valores de locais não amostrados é adequado para os índices de vegetação estudados. Além disso, os valores de alcances demonstram que a resolução espacial utilizada na imagem sentinel (10m) é adequada para a finalidade proposta, o que corrobora com o emprego da krigagem como método estimativo, pois o alcance sendo a distância máxima onde as variáveis possuem dependência espacial, determinações realizadas a distâncias menores que o alcance, a exemplo deste estudo, induz ao descarte da estatística clássica.

A Figura 3 contém os mapas dos índices de vegetação estimados por meio da krigagem ordinária. Comparando os respectivos mapas de NDVI, SAVI e IAF nas Figuras 2 e 3, observa-se, visualmente, que ocorre o mesmo comportamento quanto à variabilidade espacial, com o milheto (lado direito) se desenvolvendo melhor próximo ao limite externo do pivô central.

O emprego da krigagem nos índices de vegetação (Figura 3), ao reamostrar a resolução espacial de 10 m para 1 m, permitiu a obtenção de mapas mais suaves e com limites mais definidos, o que auxilia de modo mais acurado nas tomadas de decisões referentes ao manejo de zonas específicas.

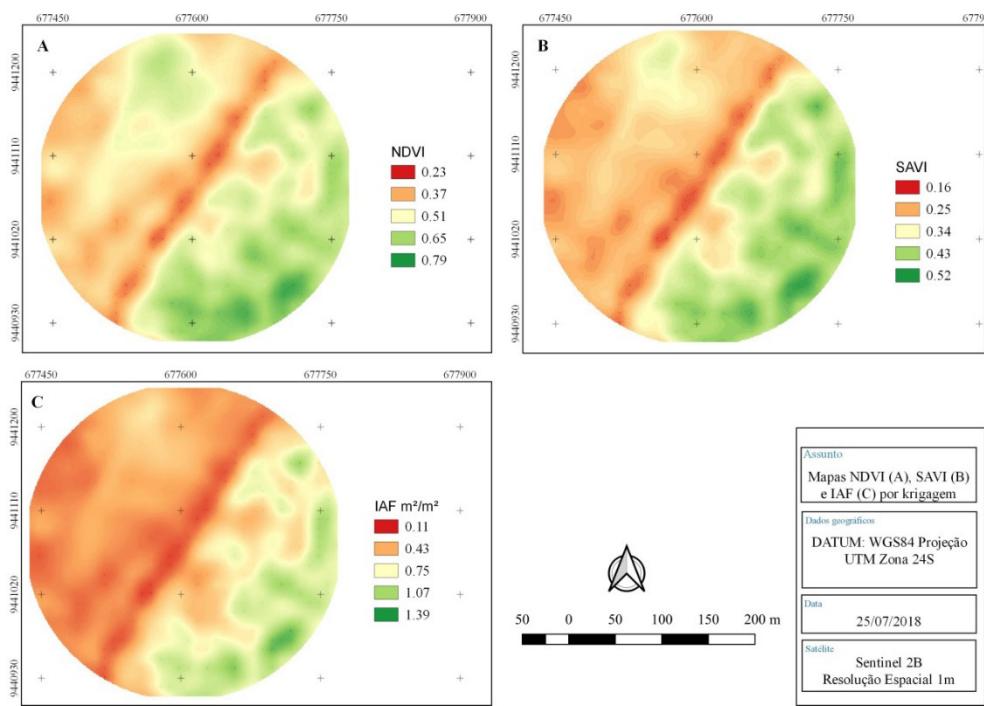


Figura 3 - Mapa NDVI (A), SAVI (B) E IAF(C) estimados por Krigagem.

Nesse sentido, em áreas em escala de propriedade rural, de poucos hectares, os índices de vegetação obtidos por krigagem fornecem melhor detalhamento da variabilidade espacial em relação à imagem de satélite com resolução espacial original, e isso auxilia nos processos decisões em relação às práticas de manejo a serem adotadas. Os mapas mais detalhados permitem a execução de outros estudos, que já são aplicados em áreas mais extensas, com objetivo de relacionar a variabilidade obtida por IV com as propriedades do solo e da cultura, a exemplo dos trabalhos de Liu et al. (2018) que avaliaram a relação, por meio do uso de imagens de satélite sentinel 2, dos índices de vegetação com a presença de metais pesados nas culturas e Gholizadeh et al. (2018) que relacionaram carbono orgânico e textura do solo com a resposta espectral do Sentinel 2.

4 | CONCLUSÕES

O processamento das imagens do satélite sentinel 2B com resolução espacial de 10 m, aplicadas em áreas pouco extensas, permitiu a construção de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) que se mostraram eficientes na delimitação de zonas de manejo específicos, o que auxilia no monitoramento de culturas agrícolas e facilita na tomada de decisões para escolha de técnicas que potencializem a produção agrícola.

O uso de técnicas geoestatísticas se mostrou viável para obtenção de índices de vegetação para resolução de 1 m, o que permitiu a obtenção de índices de vegetação que melhor predizem a variabilidade espacial de culturas em escala localizada.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), Idaho implementation – Advanced training and users manual**, v. 1.0, 2002. 97p.
- BERNARDI, A. C. D. C.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y. **Spatial variability of vegetation index and soil properties in an integrated crop-livestock system**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 21, n. 8, p. 513-518, 2017. 10.1590/1807-1929/agriambi. v21n8p513-518.
- BERNARDI, A. D. C.; RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y.; GREGO, C. R.; ANDRADE, R. G. **Variabilidade espacial de parâmetros físico-químicas do solo e biofísicos de superfície em cultivo do sorgo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 6, p. 623-630, 2014. 10.1590/S1415-43662014000600009.
- BERTOLIN, N. de. O.; FILGUEIRAS, R.; VENANCIO, L. P.; MANTOVANI, E. C. **Predição da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélite**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 11, n. 4, p. 1627, 2017. 10.7127/rbai. v11n400567.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOWAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. **Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils**. Soil Science Society American Journal, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994. 10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x.
- CARMO FILHO, F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MAIA NETO, J. M. **Dados climatológicos de Mossoró: um município semi-árido nordestino**. Mossoró: ESAM, 1991.
- COELHO, A. P.; ROSALEN, D. L.; FARIA, R. T. D. **Vegetation indices in the prediction of biomass and grain yield of white oat under irrigation levels**. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 48, n. 2, p. 109-117, 2018. 10.1590/1983-40632018v48s1523.
- DA SILVA, D. V. R.; SEBEM, E.; PEDRALI, L. D.; DOS SANTOS, M. A. G. **Variabilidade espacial de NDVI E EVI no estágio vegetativo da soja**. Agropampa: Revista de Gestão do Agronegócio, v. 2, n. 2, p. 132-143, 2018.
- DRUSCH, M.; DEL BELLO, U.; CARLIER, S.; COLIN, O., FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; LABERINTI, C.; MARTIMORT, P.; MEYGRET, A.; SPOTO, F.; SY, O.; MARCHESE, F.; BARGELLINI, E. P. **Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services**. Remote Sensing of Environment, v. 120, p. 25-36, 2012. 10.1016/j.rse.2011.11.026.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+: **Geostatistics for the Environmental Sciences**. Gamma Design Software, Plainwell, Michigan USA, 2012.
- GHOLIZADEH, A.; ŽIŽALA, D.; SABERIOON, M.; BORŮVKA, L. **Soil organic carbon and texture retrieving and mapping using proximal, airborne and Sentinel-2 spectral imaging**. Remote Sensing of Environment, v. 218, p. 89-103, 2018. 10.1016/j.rse.2018.09.015.
- HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. 10.1016/0034-4257(88)90106-X.
- LEMOS FILHO, L. C. A.; FERREIRA, L. L. N.; LYRA, D. L. **Variabilidade espacial de atributos do solo indicadores de degradação ambiental em microbacia hidrográfica**. Agro@mbiente On-line, Boa Vista, v. 11, n.1, p. 11-20, 2017. 10.18227/1982-8470ragro.v11i1.3413.
- LIU, M.; WANG, T.; SKIDMORE, A. K.; LIU, X. **Heavy metal-induced stress in rice crops detected using multi-temporal Sentinel-2 satellite images**. Science of the Total Environment, v. 637-638, p. 18-29, 2018. 10.1016/j.scitotenv.2018.04.415.

LIU, S.; WANG, B.; ZHANG, J.; CAI, D.; TIAN, G.; ZHANG, G. **Predicting the Seasonal NDVI Change by GIS Geostatistical Analyst and Study on Driver Factors of NDVI Change in Hainan Island**, China. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, v. 4, n. 06, p. 92, 2016. 10.4236/cep.2016.46008.

MARINO, S.; ALVINO, A. **Hyperspectral vegetation indices for predicting onion (*Allium cepa L.*) yield spatial variability**. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 116, p. 109-117, 2015. 10.1016/j.compag.2015.06.014.

MATHERON, G. **Principles of geostatistics, economic geology**. *Economic Geology*, v. 58, n. 8, p. 1246-1266, 1963. 10.2113/gsecongeo.58.8.1246. 10.2113/gsecongeo.58.8.1246.

MOTOMIYA, A. V. D. A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; ROJO BAIO, F. H. **Mapeamento do índice de vegetação da diferença normalizada em lavoura de algodão**. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 42, n. 1, p. 112-118, 2012. 10.1590/S1983-40632012000100016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos 2012.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS. Versão 2.18.23, 2018.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P.J. **GeoR: a package for geostatistical analysis**. *RNEWS*, v.1, n.2, p.15-18, 2001.

RIBEIRO, R. B.; FILGUEIRAS, R.; RAMOS, M. C. A.; DE ALMEIDA, L. T.; GENEROSO, T. N.; MONTEIRO, L. I. B. **Spatio-temporal variability of vegetation condition in irrigated agriculture through sentinel-2a images**. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 11, n. 6, p. 1884, 2017. 10.7127/rbai.v11n600648.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: *Third ERTS Symposium, Proceedings, NASA SP-351*, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

SAYAGO, S.; OVANDO, G.; BOCCO, M. **Landsat images and crop model for evaluating water stress of rainfed soybean**. *Remote Sensing of Environment*, v. 198, p. 30-39, 2017. 10.1016/j.rse.2017.05.008.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. **An analysis of variance test for normality (complete samples)**. *Biometrika*, v.52, p.591-611, 1965. 10.2307/2333709.

VIAN, A. L.; SANTI, A. L.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R.; SIMON, D. H., DAMIAN, J. M.; BREDEMEIER, C. **Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta**. *Ciência Rural*, v. 46, n. 3, p. 464-471, 2016. 10.1590/0103-8478cr20150539.

VRIELING, A.; MERONI, M., DARVISHZADEH, R.; SKIDMORE, A. K.; WANG, T., ZURITA-MILLA, R.; PAGANINI, M. **Vegetation phenology from Sentinel-2 and field cameras for a Dutch barrier island**. *Remote sensing of environment*, 2018. 10.1016/j.rse.2018.03.014.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D. R. **Spatial variability of soil physical properties in the field**. In: Hillel, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic, 1980. cap. 2, p. 319-344.

ZANZARINI, F. V; PISSARRA, T. C.; BRANDÃO, F. J.; TEIXEIRA, D. D. **Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, p. 608-614, 2013. 10.1590/S1415-43662013000600006.

A EDUCAÇÃO BRASILEIRA E SUAS VERTENTES ECONÔMICAS

Gustavo Tavares Corte

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – RJ

Beatriz Valentim Mendes

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – RJ

Steven Dutt-Ross

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro – RJ

de todas as análises conclui-se que existe um ciclo entre educação e economia. Tal conclusão serve como base para uma discussão sobre o vigente sistema educacional brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: educação, renda, oportunidade, investimento, ciclo educacional.

THE BRAZILIAN EDUCATION AND IT ECONOMICS ASPECTS

ABSTRACT: The approach of this research is analyze what is the relation between educational indicators and the Brazilian income per person. Trying to answer if education opportunities are positively related to personal incomes. As so, examine if the state's educational results are influenced by the state's investment. Dispersion diagram and correlation matrix were made at the R software. Confronting IDEB, IOEB and state's budget, variants related to education, and income per person. After the data analysis become apparent that the education opportunities, and not the financial invest, results in better educational effects. Which provides greater integration in higher education, increasing the income per person. After all analysis become noticeable the existence of a cycle involving education and economy. This conclusion could be a base for discussing Brazil's education system.

KEYWORDS: education, incomes,

opportunities, invest, educational cycle.

1 | INTRODUÇÃO

A pesquisa tem como objetivo principal analisar qual a associação entre a renda *per capita* e o nível educacional nos estados brasileiros e Distrito Federal, traçando assim, uma relação entre os fatores educacionais e econômicos.

Através de análise tendo como base o orçamento destinado às secretarias de educação estaduais, será possível observar se um maior investimento no setor educacional é revertido em melhores resultados em indicadores educacionais tais como o IDEB e o IOEB. Além disso, será possível realizar a demonstração do quanto a oportunidade em educação básica afeta na renda per capita da população. Sendo então plausível a elaboração de medidas que visem não apenas a melhoria da educação brasileira, como também, de sua economia.

2 | OBJETIVO

Os objetivos específicos consistem em verificar se maiores oportunidades educacionais são revertidas em maiores rendas per capitais. Assim como apurar se o problema da educação brasileira está na falta de recursos para a área, isso é, se maiores investimentos no setor de educação significam, necessariamente, melhores resultados educacionais. E, por fim, analisar se maiores índices na educação básica são convertidos em maior inserção no ensino superior.

3 | MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram retirados do Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil, com indicadores desenvolvidos por três instituições: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) e Fundação João Pinheiro. O ano de referência desta pesquisa é 2015.

Dados como orçamento destinado à secretaria de educação foram retirados diretamente das Leis Orçamentárias Estaduais (LOA). Enquanto o Índice do Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) e o Índice de Oportunidades da Educação Brasileira (IOEB) foram retirados de seus próprios sites ideb.inep.gov.br e ioeb.org.br, respectivamente.

Foram considerados os vinte e seis estados brasileiros mais o distrito federal. Cumpre registrar que foi realizada a concatenação (*merge*) de diversas bases de dados cuja chave foi a unidade da federação - UF.

A metodologia utilizada ao longo do trabalho consiste em, através do software R, criar correlogramas que possibilitarão a compreensão dos objetivos específicos

e, além disso, serão utilizados testes de hipótese para a confirmação dos objetivos específicos. Isso é, se as hipóteses criadas podem ser aceitas ou não.

De início, relacionando por meio de uma matriz de correlação de *Spearman*, utilizado em correlações onde as variáveis não possuem distribuição normal, será possível observar a intensidade da correlação entre as variáveis.

Nesta pesquisa, foram desenvolvidos dois cartogramas com o uso do pacote googleVis e do software R dividido em estados onde foi possível observar as diferenças entre o orçamento investido por aluno e os resultados educacionais alcançados. O nível de significância de todos os testes de hipóteses foi de 0,05. Para a verificação das hipóteses foram utilizados testes de correlação de *spearman* (dado que não há distribuição normal) da função *cor.test* do pacote *stats*.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O correograma a seguir confronta as variáveis: Anos de estudo; Taxa de frequência líquida ao superior; Taxa com superior completo; Renda per capita; Índice de GINI; IDEB; IOEB; e por fim, Orçamento entre alunos em idade estudantil, isso é, pessoas entre cinco e vinte e quatros anos.



Figura 1 – Correograma. Fonte dos dados: IPEA, PNUD e FJP. Processamento dos autores.

A maior parte das correlações entre as variáveis descritas anteriormente são positivas. As correlações negativas são as que envolvem o índice de GINI, que diz respeito a desigualdade social e, em sua maioria, são correlações fracas.

Tendo em vista a premissa de averiguar a influência entre renda per capita e o nível educacional, nota-se, por meio da matriz, uma significativa correlação de 0,69 entre as duas. É possível também constatar fortes correlações de ambas as variáveis com as demais. Vale destacar as correlações entre o Índice de Desenvolvimento da Educação com as seguintes variáveis: Anos de Estudo 0,56; Taxa de frequência líquida ao ensino superior 0,71 e a População com ensino superior completo 0,68. E a correlação da renda per capita com essas mesmas variáveis tendo valor de correlação de 0,84; 0,82 e 0,90, respectivamente.

As correlações negativas da matriz ocorrem quando há o confronto do Índice de GINI com algumas variáveis, isso porque o GINI é diretamente proporcional a desigualdade social. Ou seja, por conta da correlação negativa, quanto maior for o valor de determinada variável, menor será a desigualdade social. De forma prática, ao confrontá-lo com o IDEB, observa-se os valores negativos de 0,26, e de 0,40 quando o mesmo é feito com o IOEB. Ainda que a correlação seja considerada fraca, é possível dizer que quanto mais elevados são os índices educacionais, menor tende a ser a desigualdade.

O diagrama de dispersão a seguir corrobora o que é constatado na matriz, há correlação forte, entre o Índice de Oportunidade a Educação e a renda *per capita*, respondendo assim, o primeiro objetivo da pesquisa. Ou seja, quanto maior oportunidade educacional maior tende a ser a renda individual.

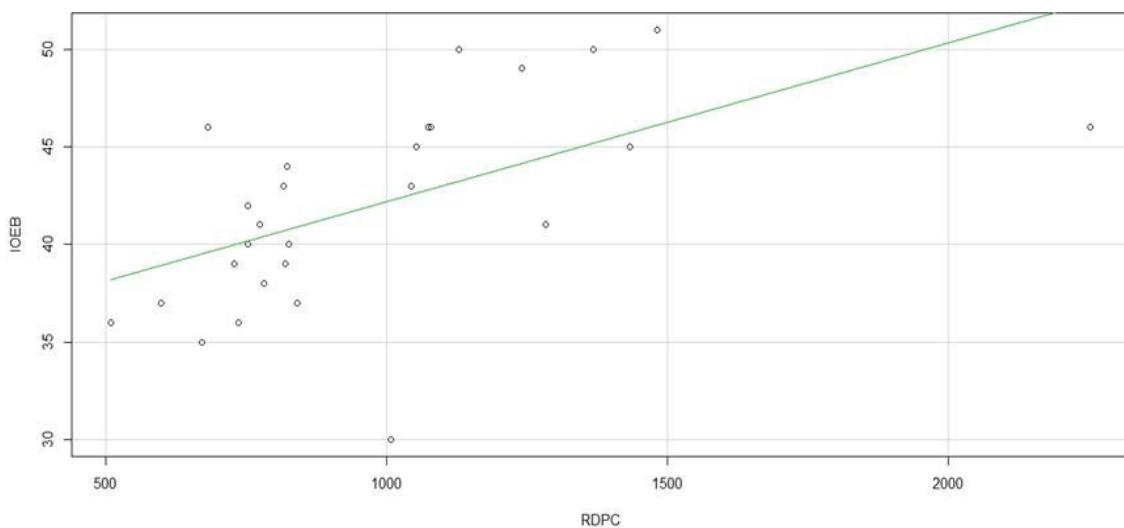


Figura 2 – Diagrama de Dispersão: Renda per capita por IOEB. Fonte dos dados: IPEA, PNUD e FJP. Processamento dos autores.

Sendo assim, estes resultados sugerem que maiores oportunidades em educação tendem a ser revertidas em maiores rendas. As maiores rendas obtidas, por consequência, impulsionam a economia, aumentando a arrecadação estatal. A partir dessa maior arrecadação, os estados terão maior capacidade para investir em educação. Concluindo um ciclo entre renda e educação.



Figura 3 - Ciclo Educacional. Fonte: Processamento dos autores.

A segunda hipótese diz respeito a correlação entre o investimento em educação e os resultados educacionais, buscando responder se o problema da educação brasileira está na quantidade de recursos alocados.

No recorte da matriz exposto abaixo, foram utilizadas as varáveis IDEB, IOEB e orçamento por pessoa em idade estudantil. Após análise visual da matriz, torna-se perceptível que existe correlação positiva, entre os índices educacionais e o orçamento por aluno, porém com grau fraco de associação, 0,32 com o IDEB, e 0,43 com o IOEB não sendo, portanto, uma correlação considerada forte.

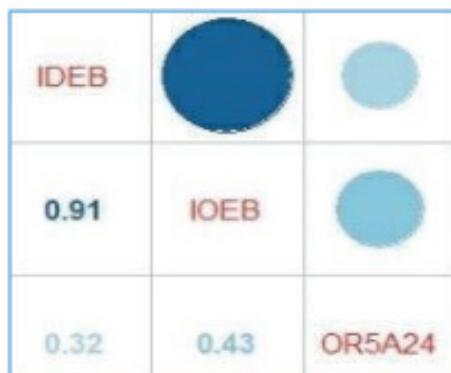


Figura 4 - Matriz de Correlação: IDEB, IOEB e Orçamento por pessoa em idade estudantil. Fonte dos dados: IPEA, PNUD e FJP. Processamento dos autores.

Para confirmar a não correlação entre o IDEB e o orçamento em educação por aluno, foi desenvolvido o teste de correlação *Spearman* (*p*-valor = 0,09907) entre as duas variáveis resultando em um *rho* = 0,324.

O resultado do teste entre as duas variáveis mostra o *p*-valor significativo apenas a 0,1. Ou seja, o investimento financeiro no setor educacional, por si só, não garante melhor educação. Logo, existem outros fatores que determinam a qualidade do ensino.

Entre esses fatores pode ser citado o mau gerenciamento da verba destinada a educação, exemplificado pelos baixos salários dos professores brasileiros, que de acordo com o relatório *Education at a Glance 2014*, da OCDE (Organização para a Cooperação Desenvolvimento Econômico), os professores do ensino fundamental da

rede pública brasileira se encontram na penúltima colocação do ranking salarial entre 44 países.

Outro problema da educação brasileira, ainda de acordo com a OCDE, está no currículo escolar pouco atrativo, que acaba fazendo com que a taxa de frequência de alunos caia muito ao longo do ano.

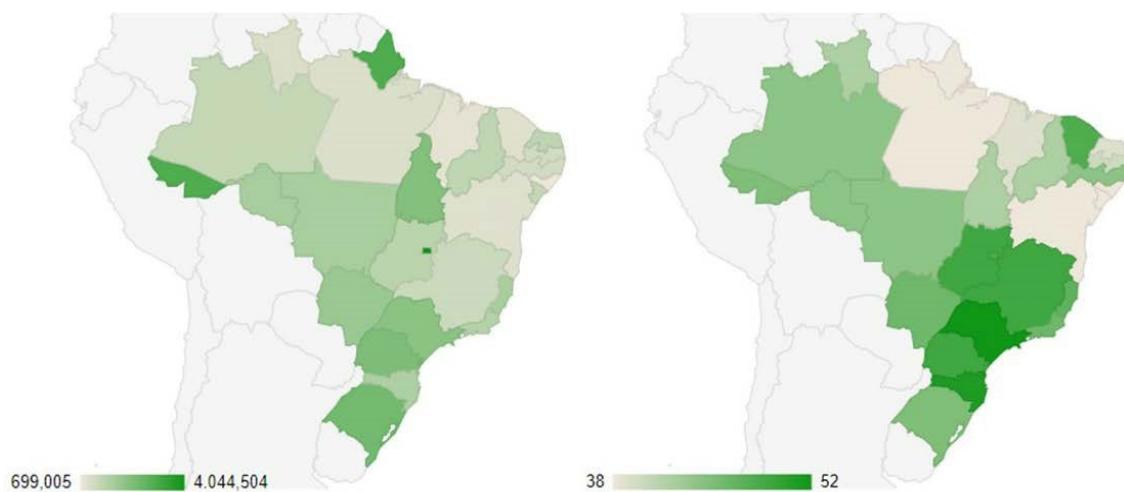


Figura 5 – Mapa Comparativo entre renda per capita e IDEB por estado Fonte dos dados: IPEA, PNUD e FJP. Processamento dos autores.

Os mapas do Brasil reforçam a hipótese de não-influência entre o IDEB e o orçamento por aluno. Enquanto o mapa da esquerda diz respeito ao investimento anual por aluno, tendo início em R\$ 699,00, referente ao estado de Alagoas e indo até R\$ 4.044,50, que é representado pelo Distrito Federal, o mapa da direita representa as notas do IDEB, indo de 38 até 52. Fica nítida a diferença entre investimento e resultado. Enquanto o mapa do orçamento tende a ser monocromático e não possui regiões em destaque, o mapa do IDEB possui uma concentração de valores maiores entre o sul e o sudeste.

Tanto o Ceará quanto o Amapá se destacam na comparação entre os mapas. Enquanto o Ceará é um dos estados mais claros no mapa da esquerda, indicando que ele é um dos que menos investem em aluno, cerca de R\$896,00 anualmente, o Amapá é o segundo estado com maior orçamento do país, pouco mais de R\$ 3.000,00 por aluno. Porém, ao ser feita a análise do mapa à direita, percebe-se que a situação dos estados se inverte. O Ceará possui 48 pontos no IDEB, resultado considerado elevado, já o Amapá possui IDEB de 38, o pior do país. Ou seja, apesar de investir mais que o triplo, o Amapá possui um resultado de 10 pontos inferior ao do Ceará.

A região Sul merece ser melhor analisada, através do mapa percebe-se que o estado que mais investe, o Rio Grande do Sul, tem o pior IDEB da região, enquanto Santa Catarina é o oposto, é o que menos investe e o que apresenta o melhor IDEB da região e um dos melhores do país. O Rio Grande do Sul possui orçamento por aluno de R\$ 2.540,87, contra R\$ 1.660,19 de Santa Catarina, apesar da diferença de R\$ 880,64, o IDEB catarinense supera o gaúcho por seis pontos. O Paraná, por sua

vez, possui orçamento inferior ao do Rio Grande do Sul e assim como Santa Catarina consegue resultados superiores.

A próxima hipótese relaciona o índice de desenvolvimento da educação com a população que frequenta o ensino superior. Buscando confirmar, ou não, através do diagrama de dispersão a seguir, a importância de um bom desempenho tanto no ensino fundamental quanto no ensino médio para a inserção e permanência no ensino superior.

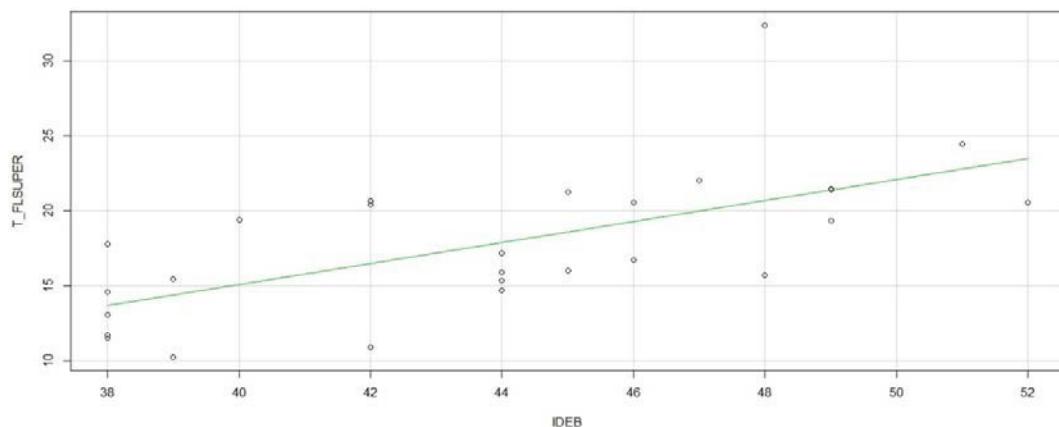


Figura 6 - Diagrama de Dispersão: IDEB pela taxa de frequência ao Ensino Superior. Fonte dos dados: IPEA, PNUD e FJP. Processamento dos autores.

O diagrama acima aponta uma correlação entre as duas variáveis sendo positiva e significativa, confirmada pela matriz com o valor de 0,71. Logo, estados que possuem escolas com bons resultados educacionais tendem a ter maior taxa da população cursando o ensino superior.

5 | CONCLUSÃO

Após as análises gráficas, que incluíram diagramas de dispersão e matriz de correlação, aliada ao teste de hipótese, os questionamentos feitos no início da pesquisa foram respondidos.

Foi possível perceber que, não só a oportunidade educacional, como também os anos de estudo e o ensino superior, impactam na renda per capita. Através da relação com o IDEB ficou perceptível que melhores índices educacionais tendem a garantir maior inserção no ensino superior. O IDEB, portanto, atinge de forma indireta a renda per capita, e por sua vez, é influenciado de forma direta pelo IOEB. Constata-se a existência de um fluxo que possui início nas oportunidades educacionais e tem como fim a renda.

Portanto, maiores atenções devem ser dadas para os índices educacionais, principalmente para o IOEB, afim de melhorar a educação e, por consequência, a renda. Todavia, essa atenção não se resume a aumentar o investimento financeiro na área. Como foi mostrado anteriormente o orçamento por aluno, por si só, não impacta

o nível da educação.

Como foi constatado, o IOEB é o propulsor das demais variáveis, as quais afetam positivamente a renda. Além disso, outro ponto que se destacou é a falta de influência do orçamento por aluno no resultado educacional.

Por conta disso, os estados devem focar a atenção na melhoria e no aumento de oportunidades na educação. Para tal, deve haver um aprimoramento da formação pedagógica dos professores, aliado a um novo plano de carreira. Junto a essa medida, deve ocorrer uma adequação do formato educacional, modernizando o ensino e atualizando-o. Para tal, casos de sucesso tais como a escola Augustinho Brandão, na cidade de Cocal dos Alves, no interior do Piauí e a Escola Municipal do Rio de Janeiro, situada na favela do Jacaré devem ser estudados, compreendidos, adaptados e implementados. A escola piauiense adotou há doze anos a formação de grupos de estudo como estratégia para adquirir boas colocações nas Olimpíadas de Matemática. E obteve como resultado 131 medalhas e mais de 70% dos formandos aprovados em universidades federais. Já a escola carioca está entre as 15 melhores do país, apesar do ambiente hostil e da pouca estrutura. De acordo com a diretora do colégio Flávia Rezek, indicada ao prêmio *Veja-se Educação*, o sucesso da escola deve-se as aulas em período integral:

Nossos professores passam o dia inteiro com os alunos. Acompanhamos a vida de todos eles de perto e temos reuniões semanais para conversar sobre cada sala. Nem nos momentos de estudo eles ficam sozinhos. (REZEK, 2017)

O orçamento educacional deve ser gerido de maneira diferente da atual, sem necessariamente, aumentá-lo. Deve-se alocar recursos nas áreas que possuem maior demanda e, sobretudo, em áreas que aumentam as oportunidades de ensino, minimizando gastos desnecessários e aumentando a eficiência do sistema.

Com a adoção dessas medidas o índice de oportunidade aumentará, o que por consequência, elevará a qualidade da educação, que, por sua vez, ampliará a inserção no ensino superior, a qual, por fim, servirá como instrumento para o aumento da renda per capita e do desenvolvimento social.

REFERÊNCIAS

Education at a Glance 2014. disponível em: <<https://www.oecd.org/brazil/Education-at-a-glance-2015-Brazil-inPortuguese.pdf>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2018.

FOX, J.; BOUCHET-VALAT, M. **Rcmdr: R Commander.** R package version 2.4-4. Fundação João Pinheiro disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/radar-idhm/>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2018.

GESMANN, M.; CASTILLO, D. **Using the Google Visualization API with R.** The R Journal, 3(2):4044, December 2011.

IDEB disponível em: <<http://ideb.inep.gov.br>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

IOEB disponível em:<<http://ioeb.org.br>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

IPEA disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/radar-idhm/>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2018.

LOA Acre. Disponível em: <<http://www.ac.gov.br/wps/wcm/connect/e16341004692aae99686bf004aea44a7/DO14183480634807.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Alagoas. Disponível em: <[http://www.seplag.al.gov.br/planejamento-e-orcamento/lei-orcamentaria-anual-loa-2005-2015/2015/LOA_2015-04-27_completo.pdf](http://www.seplag.al.gov.br/planejamento-e-orcamento/orcamento/lei-orcamentaria-anual-loa-2005-2015/2015/LOA_2015-04-27_completo.pdf)>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018. LOA Amapá disponível em: <<http://www.transparencia.ap.gov.br/relatorios/loa/loa2015.pdf>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Amazonas. Disponível em: <<http://www.sefaz.am.gov.br/subMenu.asp?categoria=554>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Bahia. Disponível em: <http://www.seplan.ba.gov.br/arquivos/File/loa/LOA2015/LOA_2015_Lei_n_13225_de_23012015.pdf>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Ceará. Disponível em: <http://www.seplag.ce.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2568&Itemid=1792#site>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Distrito Federal. Disponível em: <http://www.seplag.df.gov.br/planejamento-e-orcamento/orcamento-gdf/287lei-orcamentaria-anual-2015.html>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Espírito Santo. Disponível em: <<https://planejamento.es.gov.br/orcamentos/orcamento-2015#collapse-359>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Goiás. Disponível em: <<http://www.transparencia.go.gov.br/portaldatransparencia/planejamento-e-orcamento/pecas-do-orcamento>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Maranhão. Disponível em: <http://www.seplan.ma.gov.br/files/2013/02/LEI-OR%87AMENT%C3%81RIAANUAL_-2015.pdf>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Mato Grosso. Disponível em: <<http://www.seplan.mt.gov.br/documents/363424/3902131/LOA2015+Volume+01+SOCIAL.pdf/89f1941f-0cb34a72-a6116cff8d3a73f>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Mato Grosso do Sul. Disponível em: <<http://www.transparencia.ms.gov.br/Content/Caderno/Caderno%20LOA%202015%20Definitivo.pdf>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Minas Gerais. Disponível em: <https://www.almg.gov.br/acompanhe/Planejamento_orcamento_publico/loa/index.html>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Pará. Disponível em: <<http://seplan.pa.gov.br/sites/default/files/PDF/loa/loa2015/lei-8095-loa-2015.pdf>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Paraíba. disponível em: <<http://www.paraiba.pb.gov.br/LOA-2015/ARQUIVOS/QDD.pdf>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Paraná. Disponível em: <http://www.fazenda.pr.gov.br/arquivos/File/Orcamento/LOA/LOA2015_Lei18409_de_29_12_2014.pdf>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Pernambuco. Disponível em: <http://www2.transparencia.pe.gov.br/c/document_library/get_file?p_l_id=98341&folderId=5797281&name=DLFE -35801.pdf>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Piauí. Disponível em: <http://www.antigoseplan.pi.gov.br/upe/Orcamento/Orcamento_2015/anexo-i.pdf>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.rj.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=22317892-f2b5-42b1a1772fb48f559e0a&groupId=91233>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Rio Grande do Norte. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/seplan/DOC/DOC000000000099914.PDF>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://planejamento.rs.gov.br/upload/arquivos/201601/07113424volumei-2015.pdf>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Santa Catarina. Disponível em: http://www.alesc.sc.gov.br/portal_alesc/sites/default/files/arquivos_orcamento/LOA%202015%20n%C2%BA%2016.530%20de%2023%20de%20dezembro%20de%202014%20completa.pdf. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA São Paulo. Disponível em: <http://www.orcamento.planejamento.sp.gov.br/download_lei/2015>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Sergipe. Disponível em: <http://seplag.se.gov.br/wp-content/uploads/2016/06/LOA-2015-Lei-n%C2%BA7.953_2014-Anexos-Com-Altera%C3%A7%C3%A3o-B5es-da-Lei-7.950_2014.pdf>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

LOA Tocantins. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/277885/>>. Acesso em: 06 de janeiro de 2018.

PNUD disponível em: <<http://atlasbrasil.org.br/2013/pt/radar-idhm/>>. Acesso em: 05 de janeiro de 2018.

R Core Team and contributors worldwide (2018). The R Stats Package. R package version 3.6.0

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <<http://www.R-project.org/>>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2018.

REZEK, F. “**O que me move todos os dias é a esperança**”. Revista Veja: Editora Abril. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/ideias/o-que-me-move-todos-os-dias-e-a-esperanca/?utm_source=vejaredes&utm_medium=twitter&utm_campaign=twitter_1>. Acesso em: 10 de janeiro de 2018.

WEI, T.; SIMKO, V; (2017). R package “corrplot”: **Visualization of a Correlation Matrix** (Version 0.84) Powered by TCPDF (www.tcpdf.org)

SABERES INFORMAIS SOBRE CIÊNCIAS COMO PONTE PARA O CONHECIMENTO FORMAL

Deíne Bispo Miranda

Secretaria de Educação do Distrito Federal,
Brasília – Distrito Federal.

Paulo Coelho Dias

Escola Superior de Educação – Instituto
Politécnico de Santarém,
Santarém - Portugal.

Maria Cristina Madeira Da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Brasília – Campus Estrutural,
Brasília – Distrito Federal.

restrito e elaborado como aspecto importante no processo de ensino aprendizagem do referido público. Como resultados mais relevantes, observamos a importância da diferenciação dos códigos e consequentemente das linguagens (pública e formal) como ponto de partida para reconhecimento dos recursos reais do discente; e com isso facilitar o aprendizado de uma segunda forma de linguagem, ampliando os estímulos, desenvolvendo a organização mais elaborada das respostas e consequentemente instrumentalizando para a autonomia.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Ciências, Códigos linguísticos, Curso Agrotécnico.

INFORMAL KNOWLEDGE ABOUT SCIENCE AS A BRIDGE FOR FORMAL KNOWLEDGE

ABSTRACT: This work arises from the need to reflect on the initial knowledge of the students enrolled in the Integrated Agricultural Technician Course of the Campus Planaltina of the Federal Institute of Brasília, mainly from the agricultural environment, which brings with it practical knowledge about Sciences in rural daily life. Thus, with the knowledge that there are many difficulties in learning science, it is intended, in an integrated approach in the field of Social Education, to value informal knowledge (content and language) by articulating them and making them possible, where possible, within the scope

RESUMO: Este trabalho surge da necessidade de reflexão sobre os saberes iniciais dos estudantes ingressos no Curso Técnico Integrado em Agropecuária do Campus Planaltina do Instituto Federal de Brasília, oriundos principalmente do meio agrícola, que trazem consigo conhecimentos práticos sobre Ciências no cotidiano rural. Assim, sabendo-se que existem numerosas dificuldades na aprendizagem de Ciências, pretende-se, numa abordagem integrada no âmbito da Educação Social, valorizar os saberes informais (dos conteúdos e linguagem) articulando-os e potencializando-os, onde possível, no âmbito da aprendizagem formal de Ciências, como forma de diminuir o referido insucesso. Em termos da problemática central foi abordada a questão das socializações e o uso dos códigos

of the formal learning of Sciences, as a way to reduce this failure. In terms of the central problematic, the issue of socialization and the use of restricted and elaborated codes as an important aspect in the teaching process of this public were addressed. As more relevant results, we observe the importance of the differentiation of the codes and consequently of the languages (public and formal) as starting point for recognition of the real resources of the student; and thereby facilitate the learning of a second form of language, amplifying the stimuli, developing the more elaborate organization of the answers and consequently instrumentalizing for the autonomy.

KEYWORDS: Science teaching, Linguistic codes, Agricultural Technician Course.

1 | INTRODUÇÃO

A temática proposta neste estudo é a análise do estabelecimento de possíveis pontes entre o conhecimento prévio, sobre Ciências (que designaremos por “popular”) – já construídos pelos estudantes ingressos no curso técnico em agropecuária no *campus* Planaltina do Instituto Federal de Brasília (IFB), decorrente do seu trabalho agrícola em sua comunidade rural de pertença - e o conhecimento de Ciências formal ofertada em sala de aula no referido curso.

Momento, no âmbito deste objeto de investigação propomo-nos ainda, e complementarmente, estudar as possíveis pontes de conexão entre duas linguagens das Ciências: a primeira, originária da cultura familiar agrícola do discente; a segunda, da sistematização científica de práticas já realizadas no conhecimento formal sobre Ciências; ou seja, pretende-se colocar em comunicação os saberes e as linguagens, os quais os estudantes de meio rural já trazem consigo, da vivência das atividades profissionais familiares, na associação e valorização diante ao modelo formal de ensino de Ciências.

Propomo-nos aqui, então, refletir sobre os saberes de suas socializações anteriores como instrumento de partida para o aprendizado formal de Ciências, paralelamente, às questões da linguagem que segundo Bernstein (1997), relacionam-se diretamente com a habilidade de resolução de problemas.

Numa perspectiva inclusiva, a educação formal deve continuar a existir, porém aliada à educação não formal e ligada à educação social.

Assim, saberes como cálculos de massa, volume, densidade, fenômenos químicos, dentre outros, em linguagem “popular” com os quais eles chegam à aula no início do curso, podem ser os instrumentos de diálogo inicial, mostrando como os conhecimentos científicos trazidos podem contribuir para o desenvolvimento no trabalho agrícola, e, paralelamente, identificar conjuntos de saberes que os próprios alunos já detêm sobre Ciências oriundos dos seus contextos de trabalho agrícola e que seus professores não conhecem, colaborando para inserção desses estudantes no curso e no desenvolvimento da linguagem elaborada.

Assim, face ao exposto, são os seguintes os objetivos desta construção:

1 - Analisar qualitativamente o conhecimento trazido do cotidiano dos estudantes ingressantes no *campus* Planaltina oriundos de comunidades agrícolas, não vinculadas obrigatoriamente à educação formal.

1.1 – Fazer um levantamento exaustivo (junto dos estudantes das comunidades rurais que integram o curso) de saberes sobre Ciências já construídos;

2 – Enquadurar os conhecimentos mencionados em 1 no âmbito do ensino formal das disciplinas no Curso de Técnico em Agropecuária.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Berger e Luckmann (2004) afirmam que muito do que os estudantes receberam no contexto de suas socializações será expresso no ambiente escolar, podendo ser utilizado para o sucesso ou o fracasso escolar. As normas apreendidas por cada classe social podem ser interiorizadas e externalizadas de formas diferentes. Se as normas dos educadores e educandos forem diferentes, estes últimos podem sofrer coerções por não cumprirem as normas dos docentes e estas poderão ser materializadas em diferentes formas de obstáculo à aprendizagem. Paralelamente, a questão que mais interessa no âmbito do nosso estudo, os saberes veiculados aos estudantes pelas respectivas famílias também não são iguais e a Escola tende a valorizar os saberes das classes média e alta e a desvalorizar ou, até, e pior, a criticar os saberes oriundos das famílias das classes baixas. Trata-se de uma questão diretamente ligada ao chamado *habitus* de classe (Bourdieu, 1989). Dele vai expressar-se de forma simbólica, no contexto escolar, a linguagem, a didática, a forma de avaliar os educandos, a postura enquanto educador, bem como o modo de ser destes alunos de classes sociais distintas, etc.

A educação formal, que é fornecida no âmbito das escolas brasileiras, é um modelo dominante usado da classe média para cima. É um espaço próprio das classes mais altas. Quando a educação começou a ser difundida às classes mais baixas, de forma gratuita, ela foi feita com um objetivo específico: formar a classe trabalhadora para atender o capital (Azevedo, 2008). Por isto a educação formal expressa claramente seu caráter bancário como afirmou Freire (2007), onde o educando só é receptor do saber já legitimado por uma classe dominante. O sucesso escolar, que tem base nas classes altas, é usado para homogeneizar, em parâmetros de normalidade, o aluno que atingiu o objetivo proposto pelo professor.

Neste processo, Bourdieu (1989) defende que o desempenho escolar se relaciona fortemente com o histórico educacional da família, como numa releitura do grau de oportunidade da quantidade de capital cultural que o estudante traz como herança. Para Swartz (1981, *apud* Bourdieu, 1989), a permanência de um estudante na escola depende da probabilidade percebida pelo discente de pessoas da sua classe social serem bem-sucedidas no meio acadêmico.

Por sua vez, Bernstein (1996) tratará esse assunto por meio do estudo dos códigos

utilizados pelos grupos. Para ele “um código é o princípio regulativo, tacitamente adquirido, que seleciona e integra significados relevantes, formas de realização e contextos evocadores” (p. 138). O autor comprehende a diferença existente na característica reguladora dos códigos de comunicação dos filhos da classe trabalhadora e da classe média, evidenciando o papel da educação na reprodução cultural das relações de classe. Ele defende a importância de considerar o meio social originário no processo formal de aprendizagem. Argumenta que pelo melhor desenvolvimento das linguagens pública e formal, posteriormente chamadas de código restrito e elaborado, em estudantes de classe média, verificar-se-á maior adaptação ao ensino formal em detrimento da classe baixa, a qual se restringe à linguagem pública, ou código restrito.

Assim, Bernstein (1997) justifica que crianças oriundas de classes desfavorecidas tendem a limitar-se a “uma forma de linguagem falada na qual procedimentos verbais complexos tornam-se irrelevantes diante de um sistema de identificações não verbais” (p. 150), o que ultrapassa a restrição vocabular, mas implica na restrição de estratégias formais na resolução de problemas verbais que necessitem da manutenção de resposta.

Ainda para o referido autor (1997), o professor tem como função minimizar a percepção da desigualdade, não somente caminhar pelo conhecimento formal. Quando o aluno chega à escola e não vê que estejam sendo reconhecidos os saberes familiar e pessoal que carrega consigo, isso pode vir a funcionar como fator de desmotivação. A escola deve ser para todos, pelo que as estratégias pedagógicas adotadas não podem ser únicas, cabendo a reflexão de como a escola se prepara para receber os excluídos, sendo necessário ir ao encontro das diversidades. A educação tradicional e formal frequentemente não contempla devidamente esta especificidade.

Assim, Gadotti (2012) reitera que: “toda a educação é, ou deve ser, social, já que quando falamos de educação não podemos prescindir da sociedade, da comunidade e do contexto familiar, social e político onde vivemos. Ela pode ser tanto escolar como não-escolar” (p. 9). Todavia, observa-se, na maior parte das ocorrências, o desenvolvimento da educação social, em ambiente não escolar; o que não exclui a atuação do educador social nesse espaço. Entende-se que a escola pública emancipadora e de qualidade para todos é um direito de todos e deve ser garantida pelo Estado. Assim Gadotti (2012), baseando-se em Coliman, justifica o papel da educação social dentro da escola:

Não há dúvida de que dentro das escolas surgirão contribuições importantes para o desenvolvimento da pedagogia social. A escola tem tudo a ganhar com a prática da educação social. Se os problemas sociais insistem em bater às suas portas, é porque a escola precisa se abrir a novas experiências, práticas e metodologias pedagógicas provenientes em sua maioria da educação não-formal, da pedagogia social, das práticas da educação social, tão novas, mas experientes o bastante para contribuir com soluções. Da escola brasileira se espera que não se feche dentro de processos educativos de ensino-aprendizagem, mas que se abra a experiências educativas que ultrapassam seus muros (p. 256).

Com isso Gadotti (2012) afirma a necessidade de combinar políticas de igualdade (é injusto tratar igualmente a desiguais) com políticas de equidade (inicialmente podem ser apenas compensatórias), não limitando a educação social ao campo não-formal.

Esta proposta de analisar qualitativamente o conhecimento popular sobre Ciências trazida do cotidiano dos estudantes ingressantes no *campus* Planaltina oriundos de comunidades agrícolas, não vinculadas obrigatoriamente à educação formal, implica a necessária articulação entre abordagens formais ligadas ao processo de ensino-aprendizagem e as correspondentes aproximações de natureza não formal a esse mesmo processo. Neste âmbito, faz todo o sentido a mobilização dos contributos da Educação Social e dos seus processos de intervenção socioeducativa no contexto escolar.

3 | METODOLOGIA

A essência deste trabalho requer a vivência, por isso optou-se pela busca *in loco* de experiências dos estudantes ingressos do Curso Técnico Integrado em agropecuária ofertado pelo *campus* Planaltina do IFB, tendo como período de observância: janeiro de 2014 a março de 2016. Nesse contexto, primeiramente, começamos por uma visita a uma das comunidades rurais próximas, para observarmos a prática cotidiana concreta das pessoas; posteriormente, já no *campus* e conhecedores desses exemplos ora referidos, partimos para a busca de relatos dos estudantes sobre suas próprias experiências lançando o diálogo, tendo exatamente por base os procedimentos já por nós previamente identificados na comunidade rural.

Optamos pela entrevista semiestruturada como opção metodológica. Assim, o diálogo pretendido no âmbito da entrevista tem a característica de semi-orientação, a fim de viabilizar o relato das práticas agrícolas, reconhecendo os sujeitos – suas inquietações, problemáticas e desafios – e, principalmente, no contexto de sua linguagem e do seu saber os produtos, equipamentos e cálculos químicos que utilizam corriqueiramente na prática agropecuária, categorizando-os em três momentos, nos quais os estudantes responderam sobre seu ambiente familiar, seu percurso escolar e sobre os aspectos químicos no trabalho agrícola da família.

Foram entrevistados vinte estudantes, dos quais 16 representantes do sexo masculino e 4 representantes do sexo feminino, estabelecendo-se alguma equivalência com o público total de matriculados no Curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio do *campus* Planaltina, também ele majoritariamente composto por homens (65% indivíduos do sexo masculino e 35% do sexo feminino). Ainda dessa amostra: sete matriculados com dificuldade de adaptação (considerou-se como critério de baixo rendimento estar em repetência da primeira série) sete matriculados com boas notas e relato de boa adaptação (segundo a coordenação de apoio ao discente) e outros seis com ingresso recente em 2016 (com apenas dois meses na instituição até à data da entrevista).

Deve-se agora comentar sobre a importância de dois princípios da entrevista, segundo Guerra (2006), o de informar com clareza sobre os objetivos da investigação e da garantia da confidencialidade, assegurado na assinatura de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, buscando construir um ambiente em que o entrevistado sofra menor intervenção do entrevistador, conseguindo maior qualidade no registro das informações.

As etapas seguintes à entrevista consistem no refinamento dos objetivos, na transcrição, na categorização dos dados, na análise de conteúdo, no estudo comparativo dos dados com a fundamentação teórica e a construção das considerações finais.

4 | RESULTADOS

O público entrevistado nesse trabalho é predominantemente de meio agrícola, tiveram suas socializações primárias e secundárias no contexto do trabalho no campo. Muitos têm interesse em contribuir para o rendimento familiar. Inicialmente, sobre o ambiente familiar, primeiro direcionamento da entrevista, os estudantes foram questionados quanto à afinidade com as atividades rurais desenvolvidas por seus pais quase a totalidade dos estudantes afirmam gostar e se sentirem motivados a estudar sobre a área, tal como é exemplificado na citação a seguir:

Eu gosto. Quando eu chego em casa, a primeira coisa que faço não é ficar na cidadezinha, é ir pra fazenda mexer com gado, andar de cavalo. Desde pequeno que sou assim. (Estudante VII)

Em seguida, o diálogo se deu em volta do segundo critério, o percurso escolar, questionando aos estudantes pontos fortes e fracos de seu próprio aprendizado. Como ponto forte, 40% informou ter como baluarte a parte técnica ou o seu conhecimento prático, como apresentado em um dos testemunhos dos respondentes sobre esta questão:

Ponto forte: me entusiasma aplicar o que eu aprendi, aqui em casa, chegar para o meu pai e dizer tudo o que eu sei. Ponto fraco: as matérias do ensino médio, cálculos. Às vezes tenho vontade de sair do colégio por causa dos cálculos. A parte técnica precisa de cálculo, mas eu consigo acompanhar, agora de matemática eu não consigo acompanhar, de química eu não consigo e de física eu não consigo. (Estudante I)

Sobre os aspectos químicos no trabalho agrícola da família, terceiro momento, uma das primeiras questões levantadas aos entrevistados foi sobre o conceito de área: como, na prática, o estudante faria para calcular a área de um canteiro ou de um pasto. Metade conseguiu responder de maneira a mencionar as variáveis relacionadas à área, sendo igualmente divididos em dois grupos: uso do código elaborado, exemplificado em XII e o segundo, uso do código restrito, como em IX.

Meu avô me ensinou de uma maneira, a gente tem mania de falar um quadro de vinte, a gente tira uma vara, se eu não me engano de 11 a 12 palmos, e mede e dá certo. Supomos que isso aqui é uma varinha que dê 11 palmos, aí você vai medindo 1, 2, 3... aí dá, isso de um lado depois do outro e aquilo ali dá um tamanho de um pasto. (Estudante IX)

Lá no Jaíba tem, tanque de irrigação. Silo tem. O volume é calculado base maior mais base menor dividido por dois vezes altura vezes comprimento. (Estudante XII)

Questionando os estudantes sobre como é preparado a compostagem e quais são os cuidados necessários nesse processo somente 15% dos entrevistados não souberam responder ou não emitiram nenhum comentário. Os outros 85%, dividem-se em 50% informando pelo menos dois cuidados, como oxigênio e temperatura; ou, oxigênio e umidade para 35% três ou mais fatores foram informados: compactação, ou temperatura, ou umidade, ou oxigênio, ou corte de seção e outros.

Não pode entrar em contato com o oxigênio, tem que estar coberto, que tem que fazer os cálculos de perda, tem que usar uma forrageira boa, no caso milho que tem muito nutriente, e o tempo que eu acho que são 45 dias de fermentação. Tem que ter o trator ou alguma coisa mais forte para compactar. (Estudante II)

Já para uma maior rapidez do amadurecimento de frutos, 45% indicam o abafamento como recurso para esse objetivo; porém não houve a descrição da ação do gás acetileno, já estudado em reações químicas na primeira série.

O baru pra durar mais tempo, nós torra e as outras coisas que não dura muito tempo nós deixa na geladeira ou no freezer. Pra amadurecer, tipo banana, a gente coloca numa caixa ou dentro de uma sacola ou um saco. (Estudante VI)

Verifica-se, portanto, a continuidade com o olhar de Bernstein (1997), que afirma a importância da diferenciação dos códigos e consequentemente das linguagens (pública e formal) como ponto de partida para reconhecimento dos recursos reais do discente; e com isso facilitar o aprendizado de uma segunda forma de linguagem, ampliando os estímulos, desenvolvendo a organização mais elaborada das respostas e consequentemente instrumentalizando para a autonomia.

Separação de mistura, reações de calor... Mais ou menos. Mesmo a química a separação de mistura, como eu não sabia, então foi aumentando o meu conhecimento e enriquecendo do que eu já sabia para o que eu não sabia. (Estudante VI)

5 | DISCUSSÃO

Os entrevistados tiveram suas socializações primárias e secundárias no contexto do trabalho no campo. Muitos têm interesse em contribuir para o rendimento familiar. Ao serem questionados quanto à afinidade com as atividades rurais desenvolvidas por seus pais, a quase a totalidade dos estudantes afirmam gostar e se sentirem

motivados a estudar sobre a área. Nota-se a busca pela capacitação formal sobre as competências que já lhe são pertinentes das atividades cotidianas do trabalho agrícola. Nesse esforço são depositadas expectativas pessoais, de familiares, quanto ao desenvolvimento pessoal, profissional e financeiro.

Inicialmente foram questionados quais pontos fortes e fracos são associados ao aprendizado. Como ponto forte, quase metade dos entrevistados informou ter como baluarte a parte técnica ou o seu conhecimento prático; e como fraca, as disciplinas que necessitam de cálculo. Questionou-se quais conteúdos de Ciências que se aproximavam das atividades agrícolas desenvolvidas pelos familiares e obteve-se que a maior parte dos entrevistados relacionaram a pelo menos um conteúdo, por vezes em uso somente de código restrito; por vezes acrescidos de novo vocabulário técnico, ou seja, mais elaborado.

Verifica-se, portanto, continuidade com o olhar de Bernstein (1997), que afirma a importância da diferenciação dos códigos e consequentemente das linguagens (pública e formal) como ponto de partida para reconhecimento dos recursos reais do discente; e com isso facilitar o aprendizado de uma segunda forma de linguagem, ampliando os estímulos, desenvolvendo a organização mais elaborada das respostas e consequentemente instrumentalizando para a autonomia.

A perspectiva sobre as influências geradas pela escolaridade familiar, rendimento salarial; de outro modo, os capitais social, econômico e cultural decorrentes das primeiras socializações para o desenvolvimento discente, como Bourdieu já defendia, soma a análise das estratégias a serem utilizadas no Curso Técnico Integrado em Agropecuária. Soma-se ainda o entendimento do uso dos códigos restrito e elaborado, das linguagens pública e formal, descritas por Bernstein, no qual irão colaborar para a compreensão de possíveis dificuldades vinculadas às classes sociais de origem.

Também caberá ao professor a contínua busca pelas estratégias de estudo, por meios de reconhecimento de saberes, pontes utilizáveis entre as linguagens, para estabelecer um processo de ensino mais democrático e revolucionário, o qual será sugerido por Freitas (2007) a partir de um projeto histórico transformador das bases de organização da escola à médio e longo prazo; construção da unidade curricular e metodológica de estudos em torno de aspectos da vida, respeitando as experiências significativas para a idade e desenvolvimento de atividades baseadas nas experiências de vida e na prática social.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho oportunizou a amplitude de percepção da proponente sobre o público discente de atendimento e as dificuldades de aprendizagem de sua unidade curricular: Ciências. A relação dessa área do conhecimento com as atividades agrárias cotidianas dos estudantes sempre foi nitidamente percebida; porém a problemática é a da ponte de comunicação entre as linguagens: pública e formal acerca de um objeto de

estudo. Essa importância é destacada pelas inúmeras outras unidades curriculares por onde transita as Ciências e por ser relatada pelos estudantes como um dos desafios a ser superado para a permanência na instituição, onde cabia ser tida como suporte para compreensão dos fenômenos estudados.

A perspectiva sobre as influências geradas pela escolaridade familiar, rendimento salarial; de outro modo, os capitais social, econômico e cultural decorrentes das primeiras socializações para o desenvolvimento discente, como Bourdieu já defendia, soma a análise das estratégias a serem utilizadas no Curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio.

Soma-se ainda o entendimento do uso dos códigos restrito e elaborado, das linguagens pública e formal, descritas por Bernstein, no qual irá colaborar para a compreensão de possíveis dificuldades vinculadas às classes sociais de origem.

E desse modo, Paulo Freire irá mostrar que não existe saber só pelo lado docente, mas que o processo de ensino-aprendizagem só acontece quando estabelecido nas duas direções: professor e estudante num revezamento de papéis. Cabendo ao professor delinear um caminho que inicie do conhecimento prévio do discente; e deste modo justificando ao docente a necessidade desse levantamento, reconhecimento e valorização dos saberes originários; que irá colaborar para a formação de uma pessoa que se expresse com crítica, reflexão e com autonomia.

Para a elaboração deste trabalho, recorremos a educação social, a qual vislumbra nas Ciências, um instrumento de empoderamento e transformação do público discente, ansiando, por meio dessa área do conhecimento, que se obtenha a instrumentação necessária para o desenvolvimento dos futuros técnicos em agropecuária.

7 | AGRADECIMENTOS

Ao Instituto federal de Brasília (IFB) e ao Instituto Politécnico de Santarém-Portugal (IPS)

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, J. L. **A educação como política pública:** polêmicas de nosso tempo: Campinas: Autores Associados, 3 ed, 2008.

BEGER, P.; LUCKMANN, T. **A construção social da realidade:** tratado de sociologia do conhecimento, Petropólis-RJ: Vozes, 24^a ed. Ed., 2004.

BERSTEIN, B. **A estruturação do discurso pedagógico:** classe, códigos e controle, Petropólis: Vozes, 3 ed., 1996.

BERSTEIN, B. **Estrutura Social, linguagem e aprendizagem.** In M. H. Patto, Introdução à Psicologia Escolar (pp. 145 - 170). São Paulo: Casa do Psicólogo, 1997.

BOURDIEU, P. **O poder simbólico,** Lisboa: Bertrand Brasil, 1989.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia:** saberes necessários à prática educativa, São Paulo: Paz e Terra, 36^a ed, 2007.

FREITAS, L. C. **Eliminação adiada:** O ocaso das classes populares no interior da escola e a ocultação da (má) qualidade do ensino. Educ. Soc., 28, pp. 965-987, out, 2007.

GUERRA, I. C. **Pesquisa Qualitativa e Análise de Conteúdo** - sentidos e formas de uso. Estoril: Principia, 2006.

CLUBE DE CIÊNCIAS: RELATO DE EXPERIÊNCIAS E IMPRESSÕES DOS ALUNOS

Teresinha Guida Miranda

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará,
Marabá-PA.

Alice Silau Amoury Neta

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará,
Marabá-PA.

Jussara da Silva Nascimento Araújo

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará,
Marabá-PA.

Danielle Rodrigues Monteiro da Costa

Universidade do Estado do Pará,
Marabá-PA.

Normando José Queiroz Viana

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará,
Marabá-PA.

Alessandra de Rezende Ramos

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará,
Marabá-PA.

diversificados assuntos das Ciências Naturais. No entanto, para a produção desse trabalho levamos em consideração somente os relatórios da primeira e última atividade do clube. O modelo de análise adotado para sistematização e interpretação dos dados foi o da Análise de Conteúdo Temático. Neste estudo foi possível evidenciar a ampliação da visão dos estudantes, no que se refere à concepção de Ciência, após o ingresso no Clube de Ciências. Assim, na análise das impressões iniciais sobre Ciência, foi evidenciado que 60% dos alunos vincularam o conceito a pesquisas científicas, inovações e descobertas e 40% destes limitaram suas concepções à disciplina e matéria ministrada nas escolas. Nas impressões finais sobre Ciência foi possível constatar que a categoria “*pesquisas científicas e inovação*” não apresentou alteração no percentual de incidência, no entanto, o surgimento de três novas categorias foi observado: “*experimentação*” (25%) contemplando respostas que relacionam Ciência com experiências, “*visão antropocêntrica de Ciência*” (25%), referente a respostas que abordam descobertas, pesquisas e estudos, mas restrita a humanos; e “*visão holística de Ciência*” (25%), referente à uma compreensão dos fenômenos em sua totalidade, sem restrição a aplicações específicas.

PALAVRAS-CHAVE: Letramento científico, Ensino, Espaço não formal.

RESUMO: As primeiras experiências de atividades do Clube de Ciências, no município de Marabá, foram reportadas neste trabalho. Um estudo comparativo foi realizado das impressões sobre Ciências, de alunos oriundos de escolas da rede pública, antes e após o ingresso no Clube. Os encontros ocorreram quinzenalmente com a participação de vinte alunos do 8º e 9º ano do ensino fundamental. Nos encontros foram promovidas discussões e contextualizações de

ABSTRACT: The initial activities of the Science Club from the city of Marabá-PA were reported in this work. A comparative study was carried out with public school students to evaluate their impressions on science before and after joining the club. The meetings happened every 15 days with the participation of twenty elementary school students from the 8th and 9th grades. Each meeting promoted discussions and contextualization on a variety of Natural Science subjects. However, in this work, we only considered the first and last reports of the activities performed. The model analysis used for data systematization and interpretation was the Analysis of Thematic Content. This study showed an expansion in the students' view with regards to their concept of science after joining the club. The initial analysis of their impressions showed evidence that 60% of the students associated the concept of science with scientific research, innovations and discoveries, while the other 40% limited it to a class and subject taught at school. In the final analysis of their impressions on science, we noticed that the category "scientific research and innovation" had no change in its percentage of incidence. However, three new categories were observed: the "experimentation" (25%), which can be associated with the answers that connected science to experiments; the "anthropocentric view of science" (25%), which can be related to the responses that involved discoveries, research and studies on humans; and the "holistic view of Science" (25%), which can be associated with the total understanding of the phenomena without restrictions to specific applications.

KEYWORDS: Scientific literacy, Teaching, Non-formal space.

1 | INTRODUÇÃO

Historicamente o ensino de Ciências no Brasil sofreu profundas mudanças epistemológicas. Todo o período educacional brasileiro compreendido desde a implantação da primeira escola, na Bahia em 1549, até a chegada da família real portuguesa, em 1808, é marcado pelo predomínio quase absoluto do ensino de Humanidades. No período Imperial houve pouca contribuição ao ensino de Ciências Naturais, ou seja, permanecia o ensino de Humanidades à semelhança do que era feito na época dos Jesuítas. Durante a primeira República (1889-1930), o cenário permanece quase inalterado (Diogo e Gobara, 2008).

A partir da década de 50 do século passado, após a segunda Guerra e sob a influência de um movimento mundial de reformas, o ensino de ciências no Brasil passa a fazer parte de maneira mais significativa do currículo escolar (Silva e Pereira, 2011). Movimentos sociais nas décadas de 60 e 70, oriundos das preocupações com as armas nucleares e químicas, além dos problemas ambientais decorrentes do desenvolvimento científico e tecnológico, motivaram os estudos de ciência, tecnologia e sociedade (CTS), no campo interdisciplinar (Cutcliffe, 1990). Essa tendência no

ensino é importante até os dias de hoje, pois leva em conta a estreita relação da ciência com a tecnologia e a sociedade, aspectos que não podem ser excluídos de um ensino que visa formar cidadãos.

A partir dos anos 1990, a educação científica passou a ser considerada uma atividade estratégica para o desenvolvimento do país, e o ensino de ciências incorporou o discurso da formação do cidadão crítico, consciente e participativo (Silva e Pereira, 2011).

Atualmente estamos numa sociedade mundial que supervaloriza os conhecimentos tecnológicos e científicos, uma vez que convivemos diariamente com intervenções tecnológicas em toda a sociedade, e ao cidadão do século XXI é necessário apropriar-se desse saber científico-tecnológico como ator alfabetizado com a educação científica tecnológica (Maciel et al. 2013). A ideia de alfabetização científica para todos pressupõe a formação de cidadãos capazes de fazer opções de modo consciente, bem como a existência de amplas relações entre a ciência, a tecnologia e a sociedade (Silva e Pereira, 2011).

Neste cenário, a escola não é mais o único ambiente responsável pela construção do conhecimento científico. Chassot (2003) relata a necessidade de mudanças na escola no decorrer dos anos, pois estas deixaram de ser o único espaço no qual o aluno tem acesso ao conhecimento, uma vez que a globalização confere novas realidades à educação, na medida em que permite a entrada do mundo exterior na sala de aula.

Como estratégia para facilitar este aprendizado científico tecnológico, metodologias alternativas passaram a ser utilizadas com mais frequência, dentre elas destaca-se o uso de espaços não formais de ensino, que tem como objetivo a aproximação do conteúdo com a realidade e o desenvolvimento de um aprendizado significativo.

O termo “espaço não formal” atualmente é utilizado por pesquisadores em educação, professores e profissionais de diversas áreas do conhecimento para descrever lugares diferentes da escola, onde também é possível desenvolver e aprofundar o conhecimento científico, por meio do desenvolvimento de atividades educativas (Jacobucci, 2008). Dentre os espaços não formais de ensino encontram-se os Museus, Centros de Ciências, Parques Ecológicos, Parques Zoobotânicos, Jardins Botânicos, Planetários, Institutos de Pesquisa, Aquários, Zoológicos, etc. (Queiroz et al., 2011).

Neste sentido, o trabalho apresenta os sentidos atribuídos à ciência na perspectiva dos alunos do ensino fundamental, em dois momentos distintos, no primeiro e último dia de atividade do Clube de Ciências.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Espaços não formais de ensino

O Ensino em ambientes não formais agrega grande conhecimento sobre a ciência e auxilia a escola nos processos de ensino e aprendizagem, pois ao aproximar os conceitos da realidade do estudante, o mesmo sente-se instigado, e o aprendizado torna-se mais significativo. Estes ambientes se diferem do ambiente escolar, pois tem como objetivo a divulgação científica (Cascais e Terán, 2011).

Assim, a educação em espaços não formais foge da estrutura burocrática firmada pela educação formal, que tem como enfoque proporcionar ensino e aprendizagem de conhecimentos organizados, separados segundo processos históricos, normas e leis. Desta maneira, os ambientes extraclasses comportam processos mais flexíveis de ensino e aprendizagem, não submetidos à segmentação dos educandos por níveis ou séries escolares (Kondrat e Maciel, 2013).

Benefícios múltiplos são evidenciados quando se investe na prática docente em ambientes informais de ensino, uma vez que a informalidade concede à experiência caráter voluntário dos envolvidos, e estimula o desenvolvimento de interesse pelo objeto de estudo; já que os educandos são convidados ao universo da aprendizagem, ao invés de submetidos à obrigatoriedade da plataforma de ensino regular.

No entanto, o quantitativo de escolas que não reconhecem e/ou investem na promoção de ambientes de ensino e aprendizagem em aspecto informal, afim de complementar o aprendizado teórico rígido de sala de aula, ainda é expressivo no Brasil (Kondrat e Maciel, 2013). Este desinteresse reflete a falta de conhecimento da importância de oportunizar espaços não formais de ensino, dentre outros fatores. Por outro lado, escolas que participam ou possuem alunos partícipes de experiências informais de ensino, relatam sobre o auxílio fornecido para as atividades escolares e ao estímulo propiciado à participação ativa dos educandos (Kondrat e Maciel, 2013).

Assim, o fornecimento e engajamento dos profissionais educadores incentivando a presença dos alunos em ambientes extraclasses, para desenvolvimento de atividades supervisionadas, com foco na educação informal desses, tende a cunhar o aprendizado significativo nesses cidadãos em desenvolvimento, que passarão à interpretar os fenômenos de maneira holística, não fragmentada.

2.2 Clube de Ciências

Durante as décadas de 60 e 70, muitas escolas brasileiras montaram Clubes de Ciências, com o objetivo de mudar o ensino da disciplina Ciências, atendendo aos rápidos avanços tecnológicos, por meio de atividades práticas no laboratório (Falzetta, 2003). Desde então essa metodologia passou a ser adotada como uma proposta composta por um conjunto de ações visando o desenvolvimento de atividades dinâmicas, proporcionando assim uma educação científica mais completa e instigante.

Enquanto exemplos consolidados das atividades dos Clubes de Ciências, temos a experiência da Secretaria Municipal de Educação de Blumenau que promoveu e estimulou a implantação de Clube de Ciências desde o ano de 2005, e até o ano de 2011 já existiam 5 clubes (Buch e Sschroeder, 2011).

Situação similar ocorreu com a criação do Clube de Ciências da Universidade Federal do Pará (UFPA), que até o início de 2018 atendia alunos do 1º ano do ensino fundamental até a 3ª série do ensino médio, com o objetivo de promover a iniciação científica e o letramento científico para os alunos da educação básica (UFPA, 2018).

De acordo com Alves et al. (2012), ao participarem de clubes de ciências, os alunos demonstram motivação e envolvimento pessoal em cada atividade apresentada e na execução de suas pesquisas. Assim, o engajamento dos educandos pode ser expresso por meio dos sentidos subjetivos que assumem em suas participações na elaboração de ideias, no convívio, no estudo com colegas e professores, no desenvolvimento das estratégias metodológicas das pesquisas e no retorno social gerado por suas atividades à comunidade local.

Os Clubes de Ciências foram pensados para oportunizar uma aprendizagem de ciências diferenciada da aprendizagem escolar. Nesse contexto, é esperado que os estudantes, ao se envolverem em atividades de produção de conhecimento, além de construírem uma nova concepção sobre a natureza da ciência, se motivem para estudá-la. (Alves et al, 2012, p. 103).

No entanto, as atividades dos Clubes de Ciências não devem substituir as atividades curriculares regulares, dessa forma, devem caracterizarem-se na condição de atividades extraclasse, para isso deverão ser desenvolvidas, preferencialmente, em dias e horários diferenciados dos dias e horários das aulas normais. Segundo Ribeiro e Brabo (2008, p. 19) “uma alternativa é utilizar os sábados, três ou quatro horas de atividades semanalmente”.

Frente ao exposto, é possível evidenciar quão numerosos são os benefícios dos clubes de ciências em escolas; em contrapartida, problemas relacionados à ausência de condições de infraestrutura física, quantitativo elevado de alunos matriculados e falta de interesse de grande parte dos estudantes por assuntos pertinentes às disciplinas de ciências naturais, dificultam a realização de práticas de investigação científica na escola. Segundo Ribeiro e Brabo (2008), a adoção de um clube de ciências pode servir como alternativa para desenvolvimento de habilidades científicas em estudantes que demonstrem interesse por atividades dessa natureza.

Resumidamente, podemos mencionar como aspectos que afetam positivamente a motivação, entre outros identificados pelos adolescentes, as oportunidades de participarem, de forma ativa, reflexiva, crítica, investigativa, autônoma e alegre, das atividades do Clube; o trabalho em grupo; a contextualização de seus projetos em problemas locais, socialmente relevantes; a ajuda que eles recebem de seus professores, que detêm conhecimentos e estratégias para envolver-los nas atividades; a solidariedade dos colegas e o exemplo de persistência dos pais

De acordo com Alves et al. (2012), também é viável utilizar-se de clubes de ciência com a finalidade de estimular o interesse dos estudantes pela ciência. Dessa forma, ainda que não seja evidenciado fascínio prévio pela área, tal sentimento pode ser impulsionado por meio de sua inserção no ambiente científico e / ou por alguma das variáveis ambientais que compõem esse meio.

2.3 Relevância do clube de ciências nas impressões científicas dos alunos

A sala de aula é o ambiente em que se desenvolve o processo de ensino e aprendizagem, por meio do desenvolvimento de procedimentos que seguem padrões normativos de transposição do saber teórico aos educandos. Nessa perspectiva, “o ato de ensinar se restringe ao cumprimento de uma espécie de padrão normativo, logo o ensino está ligado a uma conformidade em relação a um modelo e, consequentemente, a uma espécie de ideia prescritiva de ensinar” (Brito e Ramos, 2014).

No entanto, a aprendizagem só atinge significância à medida que passa a integrar as concepções do aluno dotando-o de autonomia na interpretação dos fenômenos e o estimula à uma atuação protagonista frente às demandas que o cercam.

Dessa forma, a ciência nada mais é do que “uma linguagem para facilitar nossa leitura do mundo natural” (Chassot, 1993) e como consequência da aquisição de saber científico tem-se o desenvolvimento de competências relacionadas à descrição do mundo natural e à compreensão da natureza humana e do ambiente que nos cerca (Chassot, 2003).

Assim, o ambiente do Clube de Ciências mostra-se eficiente e capaz para manifestar momentos de aprendizagem significativa, por meio de acontecimentos de ensino e aprendizagem.

O acontecimento é o encoberto que se torna manifesto, eternamente o que acaba de passar e o que vai se passar, pois pertencente à superfície e se dá onde o instantâneo e o efêmero puerizam a eternidade e tudo é mudança, evenemencialismo, novidade, criação. (Brito e Ramos, 2014, p. 35).

De acordo com Brito e Ramos (2014, p. 46), “a ideia de aprendizagem já não concerne a um modelo guiado por normas ou regras, mas por um aprendizado movido pelo acontecimento, pelo devir, pela singularidade”. Logo, as atividades desenvolvidas nos Clubes de Ciências são capazes de proporcionar momentos de aprendizagem nos educandos, à medida que permitem aproximação e interação com os fenômenos estudados teoricamente em sala de aula, culminando no despertar científico, e que, segundo Brito e Ramos (2014, p. 38), “são feitos nos encontros, nas pequenas fissuras, nos gestos singulares”.

Ao inserir-se no ambiente de um Clube de Ciências, o estudante é conduzido à desmistificação do entendimento científico, propiciada por meio de uma alfabetização

científica. Conforme Chassot (2003), a alfabetização científica propicia a compreensão da ciência como linguagem, que permite ao ser humano compreender o ambiente que o cerca.

Assim, o fazer científico desenvolvido no âmbito de um Clube de Ciências deve ultrapassar a mera reprodução de experimentos laboratoriais de livros didáticos, mas, ao invés disso, alfabetizar cientificamente os indivíduos, para torná-los aptos no desenvolvimento de novos saberes e promovendo o progresso científico.

Muito mais que apresentar experimentos curiosos ou fazer os alunos repetirem determinados roteiros de experiências, é necessário esclarecer que a ciência se configura como sistema de interpretação da realidade (ainda que tenha critérios de legitimação na própria realidade), passando continuamente por aperfeiçoamentos, na qual não existe método único de produção. Acima de tudo, é uma construção humana e sua produção está diretamente relacionada ao contexto histórico e a criatividade de seus autores, não exclusivamente de sofisticações técnicas e métodos previamente padronizados (Ribeiro e Brabo, 2008, p. 13).

Enfim, o Clube de Ciências assume caráter de “autonomizador” dos alunos e configura-se como ambiente propício à ascensão da compreensão científica dos educandos.

A presente pesquisa foi desenvolvida durante o período de reativação do Clube de Ciências da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa), *Campus* de Marabá/PA, ocorrida no segundo semestre de 2018. Foram estabelecidas parcerias com duas escolas da rede pública do município. Nesse cenário, em cada escola foram selecionadas aleatoriamente duas turmas de 8º e 9º anos, para a seleção dos educandos participantes da pesquisa. Para o desenvolvimento do presente estudo, foram executadas as seguintes etapas:

a) Acompanhamento e seleção de alunos

A fase inicial da pesquisa constou de observação participante durante as aulas de Ciências, por um período de trinta dias nas quatro turmas anteriormente selecionadas. Este acompanhamento visava identificar as abordagens científicas que são trabalhadas na sala de aula e como os alunos reagem a elas.

No último dia de acompanhamento foi apresentado aos alunos informações sobre o Clube de Ciências, e posteriormente ocorreu a seleção de cinco estudantes de cada turma, totalizando 20 alunos. A presente pesquisa respeita as questões éticas na pesquisa com seres humanos, para tanto, os termos de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE foram enviados aos responsáveis pelos alunos para esclarecimento e consentimento de participação dos alunos no Clube. Aos alunos foi entregue o Termo de Assentimento Livre e Esclarecido - TALE para anuência e assinatura.

b) Seleção de conteúdos

Foram selecionadas sete temáticas para compor o conteúdo programático dos

encontros do Clube, a saber: O que é Ciência?; Sistema solar; Química no cotidiano; Citologia; Probabilidade e estatística; Emoções e Avaliação final do funcionamento do clube. Foi abordada uma temática por encontro.

c) Dinâmica no Clube de Ciências

Os encontros ocorreram quinzenalmente aos sábados (exceto em finais de semana próximos a feriado), na Unifesspa. Cada encontro foi dividido em quatro momentos.

No primeiro momento, se realizou a socialização entre alunos e equipe, com realização de atividades lúdicas para incentivar a participação dos alunos. Em seguida houve início à apresentação do assunto escolhido, de forma expositiva e dialogada, intermeada de questionamentos aos alunos. Após isso, houve o intervalo para o lanche e o encontro finalizava com atividades de experimentação, do tema abordado.

d) Observação das atividades do Clube e produção dos dados

No primeiro encontro logo após a dinâmica inicial, os alunos foram orientados a registrar, em uma folha de papel, suas concepções iniciais acerca do termo Ciência. No último encontro do semestre os alunos foram convidados a novamente registrar suas percepções sobre Ciência.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Produção das impressões

Ao final de todos os encontros os alunos e a equipe registravam uma avaliação sobre o assunto abordado, sua importância e como se deu o desenvolvimento da atividade. Todavia, foi destacado neste trabalho apenas a impressão inicial e final sobre Ciência registrada pelos alunos no primeiro e no último encontro.

Para sistematizar e analisar os dados coletados fez-se uso da técnica análise de conteúdo segundo metodologia de Bardin (2006), que consiste de três etapas: 1. Pré-análise, 2. Exploração do material e 3. Tratamento dos resultados, inferência e interpretação.

Bardin (1979) comprehende que a análise de conteúdo envolve iniciativas de explicitação, sistematização e expressão do conteúdo de mensagens, com o intuito de realizar deduções lógicas e justificadas a respeito da origem das mensagens. A adoção do método Análise de Conteúdo vem se tornando crescente nos últimos anos, pois possibilita organização dos dados, com rigor científico e preocupa-se com a profundidade da pesquisa (Mozzato e Grzybowski, 2011).

Os dados dessa pesquisa foram produzidos no decorrer dos encontros do Clube de Ciências, que teve sua primeira temática de encontro intitulada “O que é Ciência?”.

No momento inicial das atividades do Clube, após a apresentação da temática

proposta, os alunos foram convidados a realizar uma tarefa de escrita livre com o intuito de identificar as impressões que eles atribuem a Ciência (IC). Este registro foi repetido ao término do último encontro do Clube. Tal medida foi adotada com o intuito de verificar a contribuição do Clube de Ciências na ampliação da impressão científica dos alunos.

Em paralelo à observação dos alunos, foi estabelecido o cronograma de atividades e conteúdos a serem abordados nos encontros, de modo que esses estivessem relacionados com as temáticas que vinham sendo trabalhadas na sala de aula, e, assim, contribuíssem para a ampliação da visão dos alunos sobre Ciência. Contudo, é importante ressaltar, que o Clube não funcionou como um local de aula de reforço, mas sim um lugar onde foram discutidas abordagens científicas de modo a ampliar o conhecimento que os alunos já possuíam.

Com o intuito de estimular a produção da IC inicial, foi realizada uma dinâmica de apresentação entre os alunos, visando o entrosamento e participação coletiva. Na produção da IC final, realizou-se com uma roda de conversa e ao decorrer do diálogo foram feitas pausas com questionamentos relacionados aos temas que pretendia-se investigar. Deste modo, de maneira espontânea os alunos expressaram suas compreensões científicas. As discussões desenvolvidas no decorrer da atividade foram registradas por meio de relatório científico, por uma das pesquisadoras envolvidas.

Dos alunos que participaram da IC inicial (10), apenas quatro estavam presente na atividade do Clube para avaliação da IC final. Dentre os prováveis motivos para esta evasão pode-se sugerir a aula de matemática (cuja os alunos tiveram certa repulsa pela temática); o horário que as atividades aconteceram (nas manhãs de sábado); por se tratar de um público de adolescente, os mesmos necessitavam seguir as rotinas dos pais que muitas vezes tinham outros compromissos aos sábados; e a religião, pois o dia e horário das atividades do clube coincidiam, algumas vezes, com atividades das igrejas.

Pelos motivos citados acima houve evasões e a quantidade de alunos em cada encontro era incerta. No primeiro registro 10 alunos participaram da produção da IC inicial, já na produção da IC final apenas 4 alunos colaboraram com sua produção, e na atividade de confraternização e encerramento do Clube de Ciências estavam presentes 11 alunos, mostrando a flutuação no número de alunos.

3.2 Análise de conteúdo do material produzido

Após a leitura, digitalização e organização cronológica dos textos produzidos nos relatórios dos alunos, foram identificadas as unidades de análise, que após compreensão e interpretação pelos autores foram condensadas e deram origem às categorias.

Na IC inicial foram identificadas três categorias: *Pesquisa Científica e Inovação* (30%), *Descobertas* (30%), e *Disciplina* (40%). Observa-se que a IC inicial de alguns

alunos refletiam a visão de limitação da Ciência a uma disciplina e/ou matéria restrita ao ambiente escolar. No entanto nota-se que ainda de forma simples e antropocêntrica, alguns alunos relacionam Ciência a descobertas e pesquisas relacionadas a humanos.

Já na IC final foi possível constatar que no decorrer do processo de participação nas atividades do Clube de Ciências, os alunos modificaram suas percepções científicas, que foram expressas de forma mais equilibrada, percentualmente e harmônicas entre si. Dessa forma, a categoria *Pesquisas científicas e inovação* permaneceu, não apresentando elevação no percentual de reincidências. O surgimento de três novas categorias foi observado: *Experimentação* (25%) contemplando resposta veiculada a percepção de Ciência baseada em experiências, *Visão antropocêntrica de Ciência* (25%), referente a respostas que abordam descobertas, pesquisas e estudos, contudo, ainda restringem o uso da ciência apenas para benefício humano, e *Visão holística de Ciência* (25%), referente à uma compreensão dos fenômenos em sua totalidade, sem restringir-se às aplicações científicas específicas.

Nota-se também que a categoria *Disciplina e matéria* não apresentou recorrência na IC final. Desse modo, pode-se se constatar que, embora tenha ocorrido em um curto espaço temporal, o Clube de Ciências contribuiu na ampliação da visão científica dos alunos desfazendo a limitação que antes era apontada por alguns alunos, ao limitarem Ciência a disciplina e ao espaço escolar.

As atividades desenvolvidas nos Clubes de Ciências são capazes de proporcionar momentos de aprendizagem aos educandos, à medida que permitem aproximação e interação com os fenômenos estudados teoricamente em sala de aula, culminando no despertar científico, propiciado pelos acontecimentos de ensino e aprendizagem.

Ensinar ciências, sob essa perspectiva, implica dar atenção a seus produtos e a seus processos. Implica oportunizar o contato com um corpo de conhecimentos que integra uma maneira de construir entendimento sobre o mundo, os fenômenos naturais e os impactos destes em nossas vidas. Implica, portanto, não apenas reconhecer os termos e os conceitos canônicos das ciências de modo a poder aplicá-los em situações atuais, pois o componente da obsolescência integra a própria ciência e o modo como dela e de seus conhecimentos nos apropriamos. Conhecer as ciências tem, portanto, um alto grau de comprometimento com a percepção de que o mundo está em constante modificação, sendo importante e necessária a permanente busca por construir entendimento acerca de novas formas de conceber os fenômenos naturais e os impactos que estes têm sobre nossa vida (SASSERON, 2015).

O processo de aprendizagem é de fundamental importância para o desenvolvimento do ser humano, pois o seu objetivo vai além de compreensão de conceitos e é capaz de mover o indivíduo à reflexão e compreensão do que ele é, e qual contexto se encontra inserido. O ser humano ao alterar a natureza também sofre modificações, portanto, compreender aplicações científicas na natureza é se autocompreender; a construção do conhecimento reflete a necessidade que temos de nos conhecer (Abrantes e Martins, 2007).

O conhecimento científico é propenso às modificações na medida em que novas hipóteses e teorias vão surgindo. Neste sentido, o ensino de ciência deve permitir que o indivíduo interpretasse esses fatos e se posicione diante das constantes afirmações apresentadas, frente a estas novidades científicas. Para isso é necessário que no processo de produção do conhecimento científico, os conhecimentos empíricos e a realidade do aluno sejam levados em consideração como ponto de partida (Abrantes e Martins, 2007).

Nesse processo de autoconhecimento é preciso levar em consideração que a ciência não trabalha com verdades absolutas, contudo, a compreensão dos seus conceitos nos ajuda a construir criticidade para reconhecermos o falso. A ciência irá atuar como ferramenta que auxilia na desmistificação e compreensão da realidade (Ruiz, 2005).

Embora o ensino de Ciências Naturais tradicionalmente seja visto como restrito a ambientes formais, tais como as escolas, o uso de espaços não formais pode contribuir para a construção do conhecimento em diversas áreas (Piassi et al., 2013). Dessa forma, para contornar as lacunas de aprendizado em ciência sugere-se a implantação de um clube de ciências escolar, que poderia servir como mais um ambiente educativo dentro da escola, arregimentando professores e alunos interessados em aprender fazendo ciência (Ribeiro e Brabo, 2008).

3.3 Outros aspectos observados

No decorrer da pesquisa foi possível identificar que a contribuição do Clube de Ciências não se restringiu apenas ao Letramento Científico, uma vez que os relatórios dos alunos e da equipe evidenciaram que o espaço também apresentou benefício social, à medida que modificou favoravelmente o comportamento dos envolvidos.

Durante as aulas os voluntários adquiriram confiança e trabalhavam as abordagens de maneira natural e demonstrando segurança. Na equipe, além de professores e alunos de pós-graduação, há a participação de alunos de graduação. Para estes, o Clube de Ciências proporcionou o primeiro contato com a sala de aula, mesmo adotando-se uma metodologia diferente dos ambientes formais, que contribuiu para a formação profissional dos envolvidos.

Com relação às experiências similares a essa, Silva et al. (2009, p. 1) afirma que:

O Clube de Ciências, como um espaço não formal de educação, oportuniza a participação de acadêmicos/as desde os semestres iniciais do Curso. Essa participação promove reflexões sobre a prática docente e incentiva os/as acadêmicos/as a buscarem um aprimoramento em sua formação, permeando mudanças de paradigmas com relação ao ensino de ciências. A contribuição resultante da participação em Clubes de Ciências enriquece tanto os futuros professores como alunos.

Com relação aos alunos partícipes do Clube, os mesmos afirmaram que mudaram

a forma como viam a disciplina de ciências. Por meio de relatórios, os educandos afirmaram que anteriormente vislumbravam a disciplina como “algo chato” e ao decorrer dos encontros do Clube de Ciências desenvolveram empatia pela área e compreenderam sua importância. Além disso, alguns alunos afirmam que, após início da participação no clube, passaram a respeitar mais os professores e elevaram sua dedicação na escola.

De acordo com Albuquerque (2016) os encontros dos clubes de ciências oportunizam os alunos a desenvolverem pesquisas sobre diversos assuntos, paralelamente constroem novos conhecimentos partindo das experiências vivenciadas pelo grupo e, além disso, o ambiente proporciona por meio da curiosidade e interesse o trabalho solidário e participativo de alunos e professores.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo foi possível observar a relevância de um espaço não formal de ensino como alternativa de aprimoramento / construção do letramento científico na educação básica, pois no decorrer do período de observação, verificou-se que tanto os alunos do ensino fundamental quanto os alunos da universidade demonstravam segurança durante as discussões das temáticas científicas abordadas nos encontros.

Notou-se ainda que os alunos tornaram-se gradativamente mais participativos, e foi possível observar, por meio de suas colocações, que suas impressões científicas foram aprimoradas ao decorrer das atividades, realidade expressa por meio de comparativo entre IC inicial e IC final.

Na execução do trabalho, constatou-se que o mesmo apresentou contribuição não apenas no letramento científico dos alunos, mas também relevância social, na medida em que promove a solidariedade, o trabalho em equipe e a participação. Vale ressaltar que por envolver um público jovem de regiões periféricas da cidade de Marabá, para alguns alunos, o clube de ciências era a única atividade extraescolar possível de participação. Desse modo, podemos concluir que iniciativas como essa além de contribuir com o aprendizado dos conhecimentos científicos de forma qualitativa, também possui viés social.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, A. A.; MARTINS, L. M. Scientific knowledge production: the subject-object relationship and thought development. *Interface - Comunic., Saúde, Educ.*, v.11, n.22, p.313-25, mai. – ago., 2007.

ALBUQUERQUE, N. F. *Clubes de ciências: contribuições para uma formação contemporânea*. 2016. 89p. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) – Universidade Católica do Rio Grande do Sul – RS, 2016.

ALVES, J. M.; et al. Sentidos subjetivos relacionados com a motivação dos Estudantes do clube de ciências da ilha de Cotijuba. *Revista Ensaio*, Belo Horizonte, v. 14, n. 03, p. 97 – 110, set. – dez., 2012.

BARDIN, Lawrence. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1979.

BRITO, M. R.; RAMOS, M. N. C. Por um ensino e uma aprendizagem-acontecimento. **Revista Ensaio**, Belo Horizonte, v. 16, n. 01, p. 31 – 47, jan. – abr., 2014.

BUCH, G. M.; SCHROEDER, E. Clubes de Ciências e educação científica: concepções dos professores coordenadores da rede municipal de ensino de Blumenau (SC). V Encontro Regional Sul de Ensino de Biologia (EREBIO-SUL). **IV Simpósio Latino Americano e Caribenho de Educação em Ciências do International Council of Associations for Science Education (ICASE)**, 2011.

CASCAIS, M. D. A; TERÁN, A. F. Educação formal, informal e não formal em ciências: contribuições dos diversos espaços educativos. **XX Encontro de Pesquisa Educacional Norte Nordeste**, Manaus, 2011.

CHASSOT, A. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, n. 22, jan. – abr., 2003.

CHASSOT, A. **Catalisando transformações na educação**. Ijuí: Editora Unijuí, 1993.

FALZETTA, R. **O barato do Clube de Ciências**. Disponível em: <https://novaescola.org.br/conteudo/1157/o-barato-do-clube-de-ciencias>. Acessado em: 20/09/2018.

JACOBUCCI, D. F. C. Contribuições dos espaços não formais de educação para a formação da cultura científica. **Em extensão**, Uberlândia, v. 07, 2008.

KONDRAT, H.; MACIEL, M. D. Educação ambiental para a escola básica: contribuições para o desenvolvimento da cidadania e da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Educação**, v. 18, n. 55, p. 825 – 1058, out. – nov., 2013.

MOZZATO, A. R.; GRZYBOVSKI, D. Análise de conteúdo como técnica de análise de dados qualitativos no campo da Administração: potencial e desafios. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 15, n. 4, p. 731-747, 2011.

QUEIROZ, R. M; TEIXEIRA, H. B; VELOSO, A. S; TERÁN, A. F; QUEIROZ, A. G. A. Caracterização dos espaços não formais de educação científica para o ensino de ciências. **Revista Amazônica de Ensino de Ciências – ARETÉ**. V. 4, n. 7, p. 12 - 23, Manaus, ago. – dez., 2011.

RIBEIRO, E. O. R.; BRABO, J. C. **Metodologia do ensino de ciências: iniciação científica na escola básica**. Belém: UFPA, 2008.

RUIZ, V. M. **Aprendizagem em universitários: variáveis motivacionais**. 2005. 215p. Tese (Doutorado em Psicologia) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas – SP, 2005.

SANTOS, W. L. P. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. **Ciência e Ensino**, p. 1-12, 2007.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Revista Ensaio**. Belo Horizonte. v.17 n.especial, p. 49-67, 2015.

SILVA, A. B. et al. Iniciação a docência em um clube de ciências: fortalecendo a formação inicial de licenciandos em Ciências Biológicas. In: **Salão de Iniciação Científica PUCRS**, 2009, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: EdiPUCRS, 2009. p. 225-227.

O USO DE REALIDADE VIRTUAL NO ENSINO DE CIÊNCIAS COMO FACILITADORA NO PROCESSO DE APRENDIZAGEM: UMA ABORDAGEM NEUROcientífICA COGNITIVA NOS TEMAS DE CIÊNCIAS

Welberth Stefan Santana Cordeiro

Universidade de Brasília, UnB. Brasília – Distrito Federal.

Zara Faria Sobrinha Guimarães

Universidade de Brasília, Núcleo de Educação Científica – NECBio, UnB. Brasília – Distrito Federal.

ligado ao cotidiano, fazendo, assim, com que conhecimentos mais teóricos e, pouco práticos, se tornem tangíveis aos alunos, facilitando-lhes o aprendizado e a transformação de informação em conhecimento.

PALAVRAS-CHAVE: Realidade Virtual, Aprendizagem, Tecnologias, Oficina, Prática Pedagógica.

RESUMO: A educação vem incorporando recursos tecnológicos em suas práticas de ensino. Nas últimas décadas houve um crescimento exponencial no uso de tecnologia nas diversas temáticas da área. Dentre os recursos tecnológicos atuais, surge o uso da Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV) e da Realidade Virtual Aumentada (RVA). O texto envolve a descrição de atividades que ocorreram em oficina de formação que teve como objetivo propor intervenção pedagógica, utilizando-se do processo de imersão em realidade virtual. Pretendeu-se adequar à prática pedagógica ao uso de Realidade Virtual para que os diversos tipos de inteligência (múltiplas inteligências) fossem alcançados de forma mais abrangente que nos modelos didáticos atuais. Para alcançarmos este objetivo propusemos o uso de Realidade Virtual Imersiva, com uso de óculos VR, enfocando os temas de ciências, capacitando o professor para que torne a sala de aula um ambiente de criação cada vez mais

USE OF VIRTUAL REALITY IN SCIENCE TEACHING AS A FACILITATOR IN THE LEARNING PROCESS: A COGNITIVE NEUROSCIENTIFIC APPROACH IN SCIENCE THEMES

ABSTRACT: Education has been incorporating technological resources into its teaching practices. In the last decades there has been an exponential growth in the use of technology in the various themes of the area. Among the current technological resources, arise the use of Augmented Reality (RA), Virtual Reality (VR) and Augmented Virtual Reality (AVR). The text involves the description of activities that took place in a training workshop that aimed to propose pedagogical intervention, using the process of immersion in virtual reality. It was intended to adapt to the pedagogical practice the use of Virtual Reality so that the various types of intelligence (multiple intelligences) could be reached more comprehensively than in the current didactic models. In order to reach

this goal, we proposed the use of Immersive Virtual Reality, using VR Glasses, focusing on the themes of science, enabling the teacher so that he make the classroom an environment of creation increasingly linked to daily life, making, by this way, that more theoretical knowledge and little practical become tangible to the students, facilitating them the learning and the transformation of information into knowledge.

KEYWORDS: Virtual Reality, Learning, Technologies, Workshop, Pedagogical Practice.

1 | INTRODUÇÃO

Ao longo de toda a história humana, houve diversas mudanças e avanços tecnológicos, seja na dominação do fogo, na invenção da roda, na construção de ferramentas ou mesmo, e principalmente, na criação da *internet*. Tais mudanças impactam também os processos de aprendizagem e como o ser humano se relaciona com tais processos (SILVA, 2009).

Muito embora, em alguns momentos, haja um distanciamento metodológico entre o ensino e a tecnologia, os estudantes das sociedades contemporâneas estão imersos em tecnologia (*internet, smartphones, tablets, notebooks*, etc.) a todo momento e as metodologias em sala de aula precisam estar seguindo esses avanços tecnológicos, para que cumpra um papel relevante no processo de ensino-aprendizagem deixando a aula motivadora e interessante. (PIROZZI, 2003).

Desde muito cedo, os bebês já estão em contato com jogos que estimulam a coordenação motora e, de certa forma, entretêm as crianças enquanto os pais fazem suas atividades cotidianas. Os chamados “nativos digitais”, conforme sugerido por Marc Prensky (2001), são as crianças nascidas após 1980, que estão em contato constante com a tecnologia e não se imaginam em um mundo sem ela.

Paulatinamente a educação vem incorporando recursos tecnológicos nas didáticas de ensino, mesmo que seja de forma tímida. Nas últimas décadas houve um crescimento exponencial no uso de tecnologia nas diversas temáticas de ensino. Na maioria dos casos, a escola não detém recursos ou infraestrutura suficientes para atender a demanda atual de ensino com uso de tecnologias. Uma pesquisa realizada com base no censo escolar 2013 (MEC/INEP, 2013) pela Organização Não Governamental (ONG) “Todos Pela Educação” (2014) apresentou o uso de tecnologias aplicadas ao ensino, bem como a disponibilidade de recursos nas escolas brasileiras. O resultado apontou que apenas 44,3% das escolas possuem laboratório de informática e 50,3% possuem acesso à *internet* (Todos Pela Educação, 2014).

A disponibilidade de acesso à *internet* influencia diretamente nos recursos que podem ser empregados na escola, uma vez que atua como fator limitante na utilização de várias tecnologias. Como resposta à falta de recursos, como a *internet*, alguns professores optam por utilizar o próprio celular em sala de aula e utilizar os celulares dos alunos em atividades. Numa pesquisa realizada em 2016 pelo Centro de Estudos sobre as Tecnologias da Informação e da Comunicação (CETIC), foram obtidos dados

quanto ao envolvimento dos alunos e seus celulares em ambiente escolar. O celular dos alunos, que antes era mal visto, hoje tende a ser mais uma ferramenta incorporada pelo professor em sala de aula, onde 52% das escolas utilizavam o aparelho em atividades com os alunos (CETIC, 2016).

Dentre os recursos tecnológicos atuais, surge o uso da Realidade Aumentada (RA), que, para Kirner (2008), representam técnicas de interface computacional que levam em conta o espaço tridimensional. Objetos criados de forma computacional em ambiente real.

Uma segunda modalidade é a Realidade Virtual (RV), que, segundo Kirner (1997), “é uma técnica avançada de interface, onde o usuário pode realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multisensoriais”.

A Realidade Virtual Aumentada (RVA), já utilizada atualmente no ensino de física, em algumas escolas, e em práticas de aulas de Medicina nas universidades, consiste, para Zorral et al. (2006), na mistura do ambiente real com o ambiente virtual. Um exemplo dessa tecnologia utilizada em jogos para celular é o *Pokémon Go*, em que há predominância de elementos virtuais no ambiente real, onde, no jogo, é possível visitar estádios de luta *Pokémon* e capturar novos personagens ao longo da utilização do aplicativo.

A realidade virtual e o ensino de ciências

A Realidade virtual (RV) surge no Brasil nos anos 90, em um contexto internacional, impulsionada pelo avanço tecnológico, exposição de pesquisadores a novas tecnologias e iniciativas individuais. Nessa ocasião, há integração de áreas multidisciplinares, envolvendo computação gráfica, sistemas distribuídos, computação de alto desempenho, sistemas de tempo real, interação humano computador, periféricos, etc. (KIRNER, 2008). Dentro desse período foi realizado o primeiro evento nacional de Realidade Virtual (I Workshop de Realidade Virtual – WRV’97), em 1997, na Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, em São Paulo. Esse evento foi incentivado por órgãos financiadores como o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), onde, após esta iniciativa, foi criado o *Symposium on Virtual and Augmented Reality*, coordenado pelo Prof. Claudio Kirner (KIRNER, 2008).

A Realidade Virtual (RV) é, para Tori (2010), uma ferramenta que coloca os alunos em interações realistas em ambientes virtuais e fornece diversos elementos para a ação investigativa científica, por meio desta inovação tecnológica.

A Realidade Virtual possibilita que se disponibilizem aos alunos interações realistas em ambientes sintéticos, constituindo-se assim, em importante meio para redução de distâncias, principalmente a distância aluno-conteúdo. [...] Há poucos anos, os equipamentos e softwares de RV eram acessíveis apenas em grandes empresas. Hoje, os equipamentos que executam os videogames de última geração já possuem os recursos básicos para serem utilizados como plataformas de RV. A RV é, portanto, um recurso bastante viável de ser aplicado em larga escala em

Uma segunda modalidade dessa tecnologia é a Realidade Aumentada (RA). Para Kirner (2011), “representam técnicas de interface computacional que levam em conta o espaço tridimensional”. Em outras palavras, a Realidade Aumentada (RA) é a mescla do ambiente real com objetos tridimensionais virtuais, criados de forma computacional, onde o usuário tem a sensação de que tais objetos estão disponíveis no ambiente real, e é possível a interação com os mesmos em tempo real.

Outra variação desta tecnologia é a Realidade Virtual Aumentada (RVA), que consiste, para Zorral et al. (2006), na mistura do ambiente real com o ambiente virtual, criado de forma computacional, em que há predominância de elementos virtuais no ambiente misturado.

Segundo Kirner (1997), a realidade virtual também pode ser considerada como a junção de três ideias básicas: imersão, interação e envolvimento. O processo imersivo, que consiste na utilização de óculos VR ou capacete de realidade virtual, em que o usuário se percebe completamente dentro do ambiente virtual. Kirner (1997), afirma que a ideia de imersão está ligada com o sentimento de se estar dentro do ambiente.

Ainda para Kirner (1997), “além do fator visual, os dispositivos ligados com os outros sentidos também são importantes para o sentimento de imersão, como som, posicionamento automático da pessoa e dos movimentos da cabeça, controles reativos, etc.”. A estimulação dos sentidos é de extrema importância no processo imersivo e, por conseguinte, é importante, também, para o processo de foco de atenção.

O processo não-imersivo, no qual o usuário vê os objetos virtuais com o auxílio de monitores e interage com eles no ambiente real é um outro formato de interação com a RV.

Existe ainda um terceiro modelo: o processo parcialmente imersivo. Tal processo consiste na interação de objetos reais, como a mão, no mundo virtual (KIRNER et al., 2004).

No ensino de ciências, estes dispositivos vêm sendo incorporados de maneira lenta aos processos educacionais, na medida em que, também, se expandem as pesquisas nessa área. Neste cenário, o uso de recursos tecnológicos ganha destaque como estratégia pedagógica alternativa à construção do conhecimento (FARIA et al., 2011 apud FERREIRA et al., 2012). Existem muitas vantagens em se incorporar ambientes virtuais no ensino de ciências, de modo que os alunos têm muito mais estímulos sensoriais no processo de aprendizagem.

Um objeto virtual de aprendizagem não é apenas a simulação de um experimento real. É bem mais que isso. É uma situação, uma história, na qual o aluno percorre etapas, ou navega, como se costuma dizer, envolvido por um contexto que exige a compreensão de determinados conceitos científicos. O sucesso de quem o utiliza está diretamente relacionado ao aprendizado pessoal dos conceitos envolvidos no objeto. (SPINELLI, 2013, p. 8 *apud* SILVEIRA et al., 2014).

Como os sentidos dos alunos são estimulados diz muito quanto a significação que eles dão aos conteúdos apresentados. Sobretudo, tais estímulos influenciam diretamente o processo de atenção promovido pelo cérebro e por consequência seus processos cognitivos (COSENZA et al., 2011). Na medida em que são utilizados estímulos cognitivos, o cérebro passa a absorver uma maior parte do conteúdo abordado, uma vez que, de acordo com o sentido instigado, o cérebro vai “desligando” sentidos distraidores daquele que está sendo estimulado, fazendo assim, com que a atenção do aluno esteja focada na aula (COSENZA et al., 2011).

O manejo do ambiente tem grande importância. A minimização de elementos distraidores e a flexibilização dos recursos didáticos, com o uso adequado da voz, da postura e de elementos como o humor e a música podem ser essenciais, principalmente para estudantes de menor idade, mas também para plateias mais maduras. É bom lembrar que a novidade e o contraste são eficientes na captura da atenção. (COSENZA et al., 2011, p.48)

Dentro do processo de significação existe uma situação típica de ambientes escolares, onde o aluno aprende apenas para passar na prova. O cérebro por sua vez, como órgão de regulação da vida, transforma em conhecimento apenas aquilo que pode ter aplicação na vida cotidiana. Logo, abordar os conteúdos de ciências de modo a torná-los mais próximos das relações diárias do aluno é um passo importante na construção do conhecimento, e a tecnologia, aqui relacionada ao uso Realidade Virtual (RV) com óculos VR, traz luz a essa questão tão importante nos processos de ensino e aprendizagem. Os estudantes contemporâneos, principalmente os mais jovens, tem muito mais interesse e se sentem mais estimulados quando o aprendizado está relacionado ao uso de tecnologias.

Quem ensina precisa ter sempre presente a indagação: por que aprender isso? E em seguida: qual a melhor forma de apresentar isso aos alunos, de modo que eles o reconheçam como significante?

Terá mais chance de ser significante aquilo que tenha ligações com o que já é conhecido, que atenda a expectativas ou que seja estimulante e agradável. (COSENZA et al, 2011, p. 48)

Num ambiente criado com auxílio de Realidade Virtual (RV), o aluno se torna um sujeito ativo no método de construção do conhecimento, de modo a ser protagonista no processo de investigação científica. Dessa forma, os estudantes mantêm esses conteúdos não apenas por motivos avaliativos formais, mas, por tê-los visualizado de uma forma tangível, os mantém pela relação que pode ser criada com o cotidiano desse aluno, valorizando o processo de significação desse conhecimento. Um ambiente estimulante e agradável pode ser criado envolvendo os estudantes em atividades que eles assumam o papel de sujeito ativo e não sejam meros expetadores (COSENZA et al, 2011).

A ideia de envolvimento, por sua vez, está ligada com o grau de motivação para o engajamento de uma pessoa com determinada atividade. O envolvimento pode ser passivo, como ler um livro ou assistir televisão, ou ativo, ao participar de um jogo com algum parceiro. A realidade virtual tem potencial para os dois tipos de envolvimento ao permitir a exploração de um ambiente virtual e ao propiciar a interação do usuário com um mundo virtual dinâmico. (KIRNER, 1997. p. 3)

Dentre os vários aspectos da aprendizagem significativa, onde, segundo Ausubel (1978), tratam das relações estabelecidas no contato do indivíduo com a nova informação e sua respectiva significação, o processo da compreensão, transformação, armazenamento e uso da informação na cognição são fundamentalmente estimulados por reforços sensoriais, os quais são de extrema importância para que tais processos sejam realizados de forma efetiva e que realmente agregue novos conhecimentos ao estudante, de tal maneira que sejam armazenados e utilizados no cotidiano. Quando o professor recorre a facilitadores no contexto de sala de aula, a significação tem chances de ser efetiva.

A essência do processo de aprendizagem significativa é que ideias simbolicamente expressas sejam relacionadas, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária, ao que o aprendiz já sabe, ou seja, a algum aspecto de sua estrutura cognitiva especificamente relevante (isto é, um subsunçor) que pode ser, por exemplo, uma imagem, um símbolo ou um conceito ou uma proposição já significativos. (AUSUBEL, 1978 *apud* MOREIRA et al 2006)

O uso de recursos tecnológicos que se utilizam de imagens, sons ou mesmo animações, são importantes para o processo, tanto de significação quanto para o processo cognitivo de aprendizagem e atenção. Ao estimular tais processos o professor faz com que grande parte do conteúdo apresentado seja realmente internalizado pelo aluno, uma vez que o foco da atenção também estará voltado para o conteúdo.

A proposta da oficina utiliza-se do processo de imersão em realidade virtual. Pretendemos estimular a prática pedagógica com uso de RV para que os diversos tipos de inteligência (múltiplas inteligências), evidenciadas por Gardner (1994), sejam alcançadas de forma mais abrangente que nos modelos didáticos atuais.

2 | ASPECTOS METODOLÓGICOS

A oficina intitulada “O uso de realidade virtual no ensino de ciências como facilitadora no processo de aprendizagem: uma abordagem neurocientífica cognitiva nos temas de ciências” pretendeu a explanação teórico-prática a respeito da utilização de realidade virtual (RV) no ensino dos temas de ciências, bem como na abordagem da trajetória cronológica do uso dessa tecnologia aplicada ao ensino. A atividade prática consistiu de uma demonstração da proposta com os próprios participantes interagindo em uma miniaula com o uso de realidade virtual imersiva, com apoio de óculos VR. Foram ofertadas 20 (vinte) vagas para participação na oficina, limitada pela

quantidade de óculos VR, os quais são fundamentais para que o objetivo da oficina fosse alcançado de forma plena. A duração total da proposição foi de oito horas.

A oficina foi dividida nos momentos:

1º momento:

- Descrição do que é Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual Aumentada (RVA) e suas principais diferenças;
- Histórico no Brasil: Como surgiu, onde e como chegou ao Brasil; e
- Aplicação da Realidade Virtual e Aumentada no ensino de ciências.

2º momento:

- Apresentação prática da proposta de ensino com uso de realidade virtual nos temas de ciências, com participação dos inscritos no processo de imersão em realidade virtual com óculos VR, atuando como alunos de ciências naturais (Ensino Fundamental II).

3º momento:

- Os participantes foram divididos em grupos e tiveram instruções de como trabalhar com a realidade virtual em sala de aula. Os participantes criaram mini planos de aula para apresentação em grupos no 4º momento, com a sugestão das seguintes temáticas:
 - Biomas;
 - Astronomia;
 - Divisão celular;
 - Fundo oceânico; e
 - Células.

Os participantes tiveram acesso aos *links* dos vídeos em 360° (trezentos e sessenta graus), relacionados anteriormente, para basearem seus planos de aula.

4º momento:

- Apresentação dos grupos;
- Discussão;
- Avaliação do uso da ferramenta no ensino de ciências; e
- Encerramento.

Ao final da oficina, os participantes responderam a um questionário a respeito do

uso de realidade virtual no ensino de ciências.

Os dados obtidos no questionário foram organizados baseados na metodologia de Análise Textual Discursiva Moraes e Galiazzzi (2006) a qual,

[...] é descrita como um processo que se inicia com uma unitarização em que os textos são separados em unidades de significado. Estas unidades por si mesmas podem gerar outros conjuntos de unidades oriundas da interlocução empírica, da interlocução teórica e das interpretações feitas pelo pesquisador. (MORAIS; GALLIAZZI, 2006, p.118)

3 | RESULTADOS

Participaram da oficina 13 graduandos em Ciências Naturais e da Natureza e dois professores. A oficina teve duração de 8 (oito) horas, num espaço que continha projetor, microfone, caixas de som e *internet* com acesso para os participantes.

Sete participantes responderam ao questionário aplicado no final da oficina. Todos consideraram que o tema desta foi muito relevante e em 5 respostas considerado muito aplicável, com o acesso aos recursos propostos de fácil aquisição.

Os participantes responderam afirmativamente que o uso da técnica de RV colabora com a motivação para o aprendizado como pode ser visto nos depoimentos.

A aproximação feita com o uso das tecnologias contribui diretamente para a significação pessoal simbólico-emocional no processo de aprendizagem.

Por aumentar a imersão e interesse dos alunos pelo conteúdo abordado.

[...] parte da experiência vivencial do próprio aluno, o que permite que ele participe mais ativamente do próprio aprendizado.

Eu enquanto professor fiquei maravilhado imagine quando [eu] passar para os meus alunos.

Questionados se a utilização da técnica poderia funcionar como alternativa para a falta de estrutura/recurso na escola 5 participantes afirmaram positivamente e 2 não responderam a questão. Demonstrando que, com essa ferramenta, é possível transpor barreiras físicas, de recursos e infraestrutura, de modo que a simulação em ambientes virtuais torna viável a utilização de materiais indisponíveis nas escolas, como por exemplo: laboratórios e experimentação prática. Em 3 depoimentos os participantes indicaram que a técnica poderia ser usada como ferramenta para vencer dificuldades na estrutura ou recursos da escola, como visto abaixo:

[...] nós professores temos que ter esse jogo de cintura para trazer novas ferramentas para o processo de ensino-aprendizagem.

As vezes temos microscópios, telescópios e lupas com defeito, não tem transporte

para saída de campo, não tem modelos didáticos.

Existem muitas escolas que possuem falta de estrutura e recursos e o uso desses recursos é mais uma ferramenta para vencer as dificuldades visto que é possível explorar uma realidade alternativa.

Questionados se pretendiam usar o que aprenderam na oficina em sala de aula 6 participantes afirmaram que sim e um que pretendia aplicar. Mediante os resultados, infere-se que os participantes da oficina acreditam que a tecnologia pode ser uma importante aliada no ensino de ciências, principalmente no que diz respeito a conceitos difíceis de serem demonstrados em sala tornando, assim, o conteúdo mais próximo dos alunos.

Nessa perspectiva, viu-se que recursos diferentes dos utilizados atualmente, como projetor, computadores de mesa ou portáteis, fazem com que os alunos, devido à utilização de uma tecnologia atual, demonstrem muito mais interesse pelo que está sendo abordado e com isso se fazem sujeitos ativos dentro do processo de aprendizagem.

A motivação no ambiente escolar, envolve tanto os estudantes quanto os professores e é considerada um fator primordial para promover o aprendizado (LIMA et al., 2017) fato que pode ser demonstrado com o depoimento “eu enquanto professor fiquei maravilhado imagine quando [eu] passar para os meus alunos.” Entende-se desta forma, que a aula deve ser prazerosa tanto para os estudantes quanto para os professores aumentando o nível de motivação em sala de aula.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposição da oficina pretendeu dar uma alternativa à falta de recursos como laboratórios de ciências, materiais para experimentação prática e saídas de campo, tornando possível realizar simulações em diferentes aspectos investigativos sem deixar a sala de aula, e, envolver os alunos, com seus próprios recursos, na construção do conhecimento, sendo o professor o real facilitador e mediador nesse processo.

Em síntese, tem-se nessa abordagem, com Realidade Virtual (RV) e óculos VR, uma contribuição enorme ao ensino de ciências, bem como uma possibilidade infinita de formas e opções em que o professor pode tornar a sala de aula um ambiente de criação muito mais interativo.

REFERÊNCIAS

AKAGUI, D.; KIRNER, C. **“Desenvolvimento de Aplicações de Realidade Aumentada com ARToolKit”**. Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP, 2004. Disponível em: <<http://www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wra/2004/002.pdf>>. Acesso em: 18 de set de 2018.

CENTRO DE ESTUDOS SOBRE AS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E DA COMUNICAÇÃO - CETIC. O uso de celular por alunos para a realização de atividades escolares, 2017. Disponível em: <

<https://cetic.br/pesquisa/educacao/indicadores> > Acesso em: 05 de out. de 2018.

COSENZA, R. M.; GUERRA, L. B. "Neurociências e Educação - Como o cérebro aprende". Artmed, Porto Alegre, 2011.

GARDNER, H. Estruturas da mente: a teoria das inteligências múltiplas, Artes Medica, 1994.

GASPARIN, J. L.. **A construção dos conceitos científicos em sala de aula.** Disponível em:<<http://ead.bauru.sp.gov.br/efront/www/content/lessons/41/A%20constru%C3%A7%C3%A3o%20dos%20conceitos%20cient%C3%ADficos%20em%20sala%20de%20aula.pdf>>. Acesso em: 20 de set. de 2018.

KIRNER, C. **Evolução da Realidade Virtual no Brasil.** In: **X Symposium on Virtual and Augmented Reality**, 2008, João Pessoa. Proceedings of the X Symposium on Virtual and Augmented Reality. Porto Alegre : SBC, 2008. v. 1. p. 1-11.

LIMA, M. B. de., et al. **Realidade Aumentada no Ensino de Ciências: uma revisão de literatura.** Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2017.

MORAES, R.; GALLIAZZI, M. C. Análise textual discursiva: processo reconstrutivo de múltiplas faces. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 12, n. 1, p. 117-128, 2006.

PIROZZI, G. P. **Tecnologia ou Metodologia? O Grande Desafio do Século XXI.** Revista Pitágoras, v.4, n.4, dez/mar 2013.

PRENSKY, M. **Digital Natives, Digital Immigrants.** On the Horizon, Bradford, v. 9, n. 5, p. 2-6, out. 2001.

SILVA, A. M. P. da. **Processos de ensino-aprendizagem na era digital.** 2009. Disponível em:<<http://www.bocc.ubi.pt/pag/silva-adelina-processos-ensino-aprendizagem.pdf>>. Acesso em: 15 de set. de 2018.

TORI, R. **"Educação Sem Distância: As Tecnologias Interativas na Redução de Distâncias em Ensino e Aprendizagem".** São Paulo: Editora Senac São Paulo. 2010.

TORI, R.; KIRNER, C.; Siscoutto, R. **"Fundamentos da realidade virtual e aumentada".** Belém – PA. Editora SBC, 2006.

ZORZAL, E. R.; BUCIOLI, A. A.; KIRNER, C. **"Usando Realidade Aumentada no Desenvolvimento de Quebra-Cabeças Educacionais".** Centro Universitário Adventista de São Paulo - UNASP, 2006.

CRIPTOMOEDAS E UMA APLICAÇÃO PARA MODELOS LINEARES HIPERBÓLICOS

Lucas José Gonçalves Freitas

Instituto Politécnico (IPRJ/UERJ), Faculdade ou
Departamento
Cidade – Rio de Janeiro.

Marcelo dos Santos Ventura

Universidade Federal de Goiás (UFG),
Goiânia – Goiás.

geradas pelos modelos permitiram possíveis estratégias de hedging, para os casos nas quais são estatisticamente significantes.

PALAVRAS-CHAVE: Bitcoin, trading, modelos hiperbólicos.

CRYPTOCURRENCIES AND AN APPLICATION WITH HYPERBOLIC LINEAR MODELS

ABSTRACT: The present work seeks to illustrate an application of cryptocurrencies final daily price modeling to investment strategies. More specifically, it is suggested a model with hyperbolic errors where parameters can be interpreted differently. It is used the R language package GeneralizedHyperbolic, which contains dedicated functions to the adjustment of hyperbolic models (hyperblm.fit), with parameters estimation by different methods, such as maximum likelihood and moments method. Beyond that, data were extracted by rvest package from coinmarketcap.com. The cryptocurrencies chosen were Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Cardano, and Ripple. It is verified by the behavior of the daily prices if there are differences between explanatory variables among each currency model. Therefore, investors can create trading operations strategies based on the estimated parameters generated by the regression models. The

RESUMO: O presente trabalho busca ilustrar uma aplicação de modelagem de preços finais de criptomoedas a estratégias de investimento. Mais especificamente, é sugerido um modelo com erros hiperbólicos cujos parâmetros possuem diferentes interpretações. É utilizado o pacote GeneralizedHyperbolic da linguagem R, o qual possui funções dedicadas ao ajuste de modelos hiperbólicos (hyperblm.fit), com estimação de parâmetros por diversos métodos, como máxima verossimilhança e método dos momentos. Além disso, os dados foram extraídos do site coinmarketcap.com com o pacote rvest. As criptomoedas escolhidas foram Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Cardano e Ripple. É verificado com o comportamento do preço diário de determinada moeda se há diferenças entre as variáveis explicativas entre os modelos de cada moeda. Dessa forma, investidores podem montar estratégias de operações de trading baseadas nas estimativas geradas pelos modelos de regressão. As estimativas

estimates generated by the models also allowed possible hedging strategies, given the cases of statistical significances.

KEYWORDS: Bitcoin, trading, hyperbolic models.

1 | INTRODUÇÃO

O Bitcoin (NAKAMOTO, 2008) é um dos meios de pagamento mais inovadores do século XXI e atrai interesse científico recente (BARIVIERA et al., 2017; CAIAN et al., 2016; CHEUNG et al., 2015). Dada a flutuação exponencial de moedas virtuais e sua assimetria para preços diários, uma promissora abordagem estatística é dada pelo ajuste de modelos com erros hiperbólicos, utilizados fundamentalmente em aplicações da área econômica (CHAN et al., 2017).

O pacote GeneralizedHyperbolic (SCOTT, 2015) da linguagem R (R Core Team, 2017) possui funções dedicadas ao ajuste de modelos hiperbólicos com estimação de parâmetros por métodos como máxima verossimilhança e método dos momentos. A seção que segue apresenta os objetivos específicos do trabalho e as demais, em sequência, são dedicadas aos Materiais e Métodos, Resultados, Conclusões e Referências.

2 | OBJETIVOS

O presente trabalho apresenta uma aplicação de modelos hiperbólicos a dados diários das cinco criptomoedas de maior capitalização - Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Cardano e Ripple, buscando complementar os estudos supracitados na área de criptomoedas. Além disso, a comparação entre moedas é baseada exclusivamente no comportamento de parâmetros em modelos hiperbólicos com a explicação do preço final diário de cada criptomoeda.

A coleção de 5 modelos permite a comparação entre os coeficientes de regressão de cada criptomoeda, de forma que os operadores e investidores podem montar estratégias combinadas de trading ou até mesmo adotar uma única moeda para determinada carteira, estimadas as covariáveis utilizadas.

3 | MATERIAL E MÉTODOS

A raspagem de dados do site coinmarketcap.com foi feita pelo pacote rvest (WICKHAM, 2016). Bitcoin, Litecoin, e Ripple possuem intervalo entre os dias 27/12/2013 e 13/03/2018. Moedas mais recentes como Ethereum e Cardano possuem observações de 08/08/2015 e 03/10/2017, respectivamente, até o dia 13/03/2018. A Figura 1 apresenta o preço final (diário), para cada moeda:

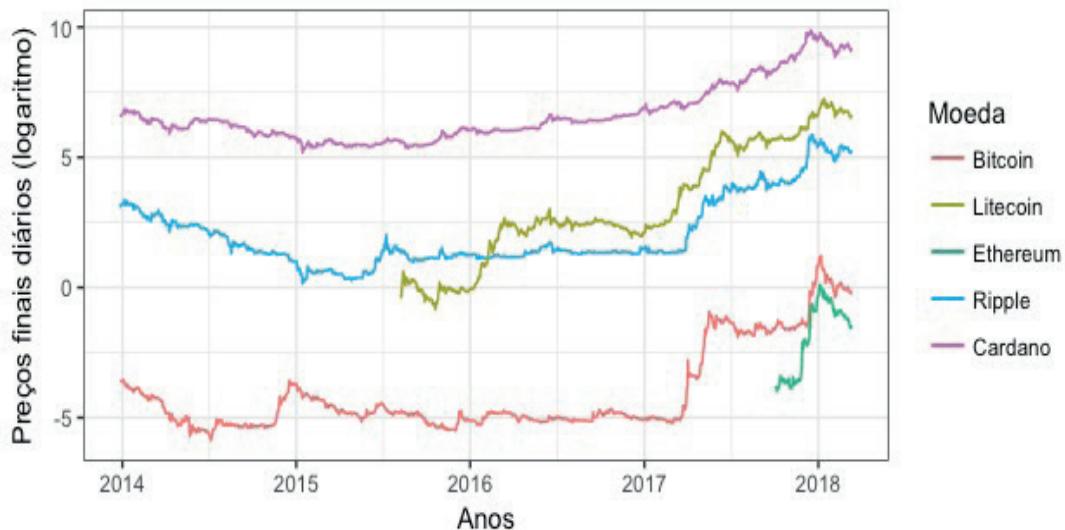


Figura 1 - Preço final (diário) para diferentes moedas.

As variáveis explicativas analisadas foram: preço máximo, preço mínimo, volume, e capitalização de mercado diários de cada moeda. Os modelos consideram erros aleatórios com distribuição hiperbólica, de densidade:

$$GH(x; \lambda, \alpha, \beta, \delta, \mu) = a(\lambda, \alpha, \beta, \delta, \mu) (\delta^2 + (x - \mu)^2)^{\left(\frac{\lambda-1}{2}\right)} \times$$

$$K_{\lambda-\frac{1}{2}} \left(a \sqrt{\delta^2 + (x - \mu)^2} \right) e^{(\beta(x - \mu))}, \text{ onde: } a(\lambda, \alpha, \beta, \delta, \mu) = \frac{2^{\frac{-1}{2}} \alpha^{\left(\frac{1}{2}\right)} (\alpha^2 - \beta^2)^{\frac{\lambda}{2}}}{\delta^\lambda K_\lambda (\delta \sqrt{\alpha^2 - \beta^2})} \text{ e } K_\lambda$$

é a função (λ) -modificada de Bessel do 3º tipo. Assim, o modelo proposto assume a forma a seguir: $Y_{ij} = \alpha_j + \sum_{k=1}^4 \beta_{ij}^k X_{ij}^k + \epsilon_{ij}$, com i = Dia de coleta, j = criptomoeda e k = Índice que representa as covariáveis utilizadas (X^1 = preço máximo, X^2 = preço mínimo, X^3 = volume e X^4 = capitalização de mercado), Y_{ij} = preço final para a criptomoeda j no dia i e $\epsilon_{ij} \sim GH(\lambda, \alpha, \beta, \delta, \mu)$.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos resultados os parâmetros da distribuição hiperbólica foram escolhidos com o método de Barndorff-Nielsen enquanto a estimativa dos coeficientes de regressão usou o método numérico Nelder-Mead. A tabela 2 apresenta as estimativas dos coeficientes para cada criptomoeda. Considerando os valores dos coeficientes, é notável que o preço máximo tem maior influência no preço final de Bitcoin e Ethereum. Por sua vez, o preço final diário é mais influenciado pelo preço mínimo para a moeda Ripple. Além disso, volume e capitalização de mercado são negativos para a moeda Ethereum, ou seja, quando estas quantidades aumentam, o preço final desta moeda, em média, diminui. As moedas Cardano e Ripple possuem coeficientes significativos apenas para as medidas preço máximo e preço mínimo.

Moeda	Coeficientes (Pr(> t))				
	Intercepto	β^1	β^2	β^3	β^4
Bitcoin	-24.4783(<0.001)	0.8863(<0.001)	0,5632(<0.001)	-9,22.(<0.001)	2,69.(<0.001)
Litecoin	0,1383(<0.003)	0.6020(<0.001)	0.4516(<0.001)	1,01.(<0.001)	-1,31.(<0.001)
	0.3498(<0.500)	0.9565(<0.001)	0.4591(<0.001)	-4,10.(<0.001)	-4,41.(<0.001)
Ethereum	0.0004(<0.900)	0.7867(<0.001)	0.4741(<0.001)	2,74.(<0.540)	-1,09.(<0.001)
Cardano	-0.0003(<0.660)	0.6225(<0.001)	0.6395(<0.001)	1,41.(<0.001)	-7,22.(<0.001)
Ripple					

Tabela 1 – Estimativas dos coeficientes para cada moeda. Fonte: Autores, 2018.

5 | CONCLUSÃO

Pode-se observar que a comparação entre modelos é uma boa ferramenta de hedge. Em tempos de preços mínimo e máximo em ascensão, o investidor de Cardano e Ripple pode, por exemplo, esperar alguma valorização de sua carteira, de acordo com esta específica abordagem via modelos hiperbólicos. Neste caso, o volume e capitalização não parecem ter influência no preço final. Análises desta natureza podem ser feitas diariamente, de modo a ajudar operadores em estratégias combinadas de compra e venda de criptomoedas.

REFERÊNCIAS

BARIVIERA, F. **The inefficiency of Bitcoin revisited: A dynamic approach**. *Economics Letters*, v. 161, p. 1-4, 2017.

CHEUNG, A.; ROCA, E.; SU J. **Crypto-currency bubbles: an application of the Phillips–Shi–Yu (2013) methodology on Mt. Gox bitcoin prices**, *Applied Economics*, 47:23, 2348-2358, 2015.

CIAIAN, P.; RAJCANIOVA, M.; KANCS, D. A. **The economics of Bitcoin price formation**. *Applied Economics*, 48(19), 1799-1815, 2016

CHAN, S.; CHU, J.; NADARAJAH, S.; OSTERRIEDER, J. **A statistical analysis of cryptocurrencies**. *Journal of Risk and Financial Management*, 10(2), 121, 2017.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system**. 2008.

R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2017. Disponível em: URL <https://www.R-project.org/>.

SCOTT, D. **GeneralizedHyperbolic: The Generalized Hyperbolic Distribution**. *R package version 0.8-1*. 2015. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=GeneralizedHyperbolic>

WICKHAM, H. **rvest: Easily Harvest (Scrape) Web Pages**. *R package version 0.3.2*. 2016. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=rvest>

O TEOREMA DA COMPLETUDADE

Angela Leite Moreno

Departamento de Matemática, Instituto de
Ciências Exatas
Universidade Federal de Alfenas – Alfenas – MG.

Michele Martins Lopes

Departamento de Matemática Aplicada, IMECC
Universidade Estadual de Campinas – Campinas
– SP.

RESUMO: Neste trabalho apresentamos detalhadamente o Teorema da Completude, que diz que, dado um espaço métrico qualquer, podemos encontrar um outro espaço métrico de tal modo que o primeiro esteja densamente imerso no segundo, sendo que a métrica utilizada no segundo é similar quando levamos em conta apenas os elementos do primeiro espaço. A importância desse resultado reside no fato de que, a hipótese de um espaço ser completo é essencial para alguns resultados, como do Teorema do Ponto Fixo, do Princípio da Contração de Banach, do Teorema de Baire, do Teorema de Banach-Steinhauss, do Teorema de Banach-Steinhauss #2, entre tantos outros resultados cuja hipótese de completude do espaço métrico é essencial.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Funcional, Espaços Métricos, Espaços Métricos Completos, Sequências de Cauchy.

ABSTRACT: In this work we present in detail the Completeness Theorem, which says that given any metric space we can find another metric space such that the former is densely immersed in the second, and the metric used in the second is similar when we take into account only the elements of the first space. The importance of this result lies in the fact that the hypothesis of being complete is essential in some results such as the Fixed Point Theorem, Banach's Contraction Principle, Baire's Theorem, Banach-Steinhauss Theorem, Banach's Theorem-Steinhauss# 2, among many other results whose hypothesis of completeness of metric space is essential.

KEYWORDS: Functional Analysis, Metric Spaces, Complete Metric Spaces, Cauchy Sequences.

1 I INTRODUÇÃO

A Análise Funcional é um ramo da Matemática Abstrata que se originou da Análise Clássica, sendo que os métodos e resultados analíticos funcionais são importantes em vários campos da Matemática e suas aplicações. Seu desenvolvimento se deu através de problemas de Álgebra Linear, Equações Diferenciais Ordinárias, Cálculo de Variações, Teoria da Aproximação e, em especial, das Equações Integrais Lineares.

Ao observar problemas de diferentes campos de aplicação, matemáticos perceberam que estes desfrutam de características e propriedades que estão relacionadas entre si. Deste modo, no lugar de se trabalhar com cada problema individualmente, pode-se utilizar uma abordagem mais abstrata, na qual detalhes não essenciais são omitidos. Assim, uma grande vantagem da abordagem abstrata está no fato de se concentrar apenas nos fatos essenciais, cuja atenção do pesquisador não é perturbada por fatos irrelevantes. Deste modo, o método se torna mais simples e econômico para tratar sistemas matemáticos, além de uma maior aplicabilidade a diversos problemas.

A abordagem abstrata normalmente se inicia com um conjunto de axiomas, de forma que não é necessário se preocupar com a natureza dos elementos que estão sendo trabalhados. A teoria consiste em sequências lógicas que decorrem destes axiomas, então são elencados teoremas, proposições e lemas que servem de base para diversas aplicações, pois não foi preciso se preocupar com as limitações destas aplicações no momento de elencá-los.

Como o estudo de espaços métricos é essencial na Análise Funcional, pois estes desempenham um papel similar ao representando pela reta real no Cálculo, além de fornecer uma base para o estudo da área. Assim, esses espaços generalizam a reta e foram elaborados para possibilitar o tratamento, de modo unificado, problemas importantes de vários ramos da Análise.

Um espaço métrico é um conjunto sobre o qual definimos uma função que mede a “distância” entre seus elementos. Essa distância, aqui denominada métrica, é definida por axiomas que são sugeridos devido à certas propriedades básicas sobre distâncias entre pontos da reta. Deste modo, iniciamos definindo espaços métricos e apresentando alguns resultados e exemplos mais utilizados, para mostrarmos que podemos mudar o modo como calculamos as distâncias dentro de um espaço e, com isso, alterar algumas propriedades dele, conforme seja conveniente.

O foco deste trabalho é discutir a completude de um espaço métrico: uma propriedade que o espaço pode ou não ter, mas que é essencial ao desenvolvimento da Análise Funcional. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o Teorema da Completude, que diz que qualquer espaço métrico pode ser densamente imerso em um outro que seja completo.

2 | ESPAÇOS MÉTRICOS

Do mesmo modo como calculamos distâncias dentro do conjunto dos números reais, este conceito pode ser estendido para qualquer espaço desde que esteja associado a uma função cujo contradomínio é o conjunto dos números reais positivos que satisfaça algumas características. Mas, quais características uma função deve satisfazer para ser considerada uma distância? Assim temos nossa primeira definição:

Definição 1 (Distância ou Métrica): Suponhamos que seja um conjunto não vazio.

Diremos que uma função $\rho: X \times X \rightarrow [0, +\infty)$ é uma distância ou métrica sobre X se as seguintes propriedades forem satisfeitas:

- (i) Para todo $a \in X$ temos que $\rho(a, a) = 0$.
- (ii) Para quaisquer $a, b \in X$ se que $\rho(a, b) = 0$, então $a = b$.
- (iii) *Simetria:* Para quaisquer $a, b \in X$ se que $\rho(a, b) = \rho(b, a)$.
- (iv) *Desigualdade Triangular:* Para quaisquer $a, b \in X$ temos que

$$\rho(a, b) \leq \rho(a, c) + \rho(c, b).$$

Diremos que um par ordenado (X, ρ) é um espaço métrico se X for um conjunto e $\rho: X \times X \rightarrow [0, +\infty)$ for uma métrica sobre X .

Notemos que, a partir da Desigualdade Triangular, obtemos a Desigualdade Triangular Generalizada:

$$\rho(x_1, x_n) \leq \rho(x_1, x_2) + \rho(x_2, x_3) + \cdots + \rho(x_{n-1}, x_n).$$

Um subespaço (Y, ρ) de (X, ρ) é obtido ao tomarmos um subconjunto $Y \subset X$ e a restrição de ρ a $Y \times Y$. Assim a métrica em Y é a restrição $\tilde{\rho} = \rho|_{Y \times Y}$.

Assim, temos que $\tilde{\rho}$ é a métrica induzida em Y por ρ .

Exemplo 1 A reta real. Aqui, consideramos o conjunto dos números reais \mathbb{R} munido da métrica usual:

$$\rho(x, y) = |x - y|.$$

Observe no exemplo a seguir que um mesmo espaço pode ter diferentes métricas e, com isso, temos diferentes espaços métricos:

Exemplo 2. O Plano Euclidiano \mathbb{R}^2 . Ao considerarmos no Plano Euclidiano os pontos $x = (x_1, x_2)$ e $y = (y_1, y_2)$, temos que a métrica euclidiana é dada por

$$\rho(x, y) = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2}$$

Também podemos considerar a métrica do módulo:

$$\rho_1(x, y) = |x_1 - y_1| + |x_2 - y_2|$$

Ou, ainda, a métrica do máximo:

$$\rho_2(x, y) = \max\{|x_1 - y_1|, |x_2 - y_2|\}$$

Mas também podemos usar a métrica discreta:

$$\rho_{01}(x, y) = \begin{cases} 1, & (x_1, x_2) = (y_1, y_2), \\ 0, & (x_1, x_2) \neq (y_1, y_2). \end{cases}$$

Entretanto, os espaços podem ser bem mais gerais:

Exemplo 3 Espaço das sequências reais. Seja S o conjunto das sequências de números reais e definamos sobre S a seguinte função

$$\rho((x_n), (y_n)) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2^n} \frac{|x_n - y_n|}{1 + |x_n - y_n|}$$

é um espaço métrico.

Exemplo 4 Espaço das sequências limitadas ℓ^∞ . Seja ℓ^∞ o conjunto das sequências limitadas de números reais, assim

$$\ell^\infty = \{(x_n) : \sup\{|x_n| : n \in \mathbb{N}\} < \infty\}.$$

Em ℓ^∞ definimos a seguinte distância

$$\rho((x_j), (y_j)) = \sup\{|x_j - y_j| : j = 1, 2, \dots\}.$$

(ℓ^∞, ρ) é um espaço métrico.

Exemplo 5 Espaço ℓ^p . Suponhamos que $p > 1$. Definimos o espaço ℓ^p o sendo o conjunto

$$\ell^p = \left\{ (x_n) : \sum_{n=1}^{\infty} |x_n|^p < \infty \right\}.$$

Em ℓ^p definimos a seguinte distância

$$\rho((x_n), (y_n)) = \left(\sum_{n=1}^{\infty} |x_n|^p \right)^{1/p}.$$

(ℓ^p, ρ) é um espaço métrico.

No caso em que $p=2$ temos um espaço que foi introduzido e estudado por D. Hilbert em 1912. Este espaço está relacionado com equações integrais e é denominado Espaço de Hilbert.

Exemplo 6 Espaços das Funções $C[a, b]$ O conjunto de todas as funções reais contínuas do intervalo fechado $[a, b]$, denotado por $C[a, b]$, dado por $C[a, b] = \{f: C[a, b] \rightarrow IR: f \text{ é contínua}\}$, com a métrica

$$\rho(f, g) = \max\{|f(x) - g(x)|: x \in [a, b]\}$$

é um espaço métrico.

3 I CONJUNTOS ABERTOS E CONJUNTOS FECHADOS

Para seguirmos as discussões precisamos dos conceitos de conjuntos abertos e conjuntos fechados. Para isso, veremos algumas definições auxiliares.

Definição 3 (Bola Aberta em um Espaço Métrico) Suponhamos que (X, p) seja um espaço métrico, que $a \in X$ e que $r > 0$ seja um número real. Diremos que o conjunto $B(a, r) = \{a \in X: \rho(a, x) < r\}$ é uma bola aberta com centro em a e raio r .

Definição 4 (Bola Fechada em um Espaço Métrico) Suponhamos que (X, p) seja um espaço métrico, que $a \in X$ e que $r > 0$. Diremos que o conjunto $B[a, r] = \{a \in X: \rho(a, x) \leq r\}$ é uma bola fechada com centro em a e raio r .

Definição 5 (Conjunto Aberto em um Espaço Métrico) Suponhamos que (X, p) métrico e A um subconjunto de X . Diremos que A é aberto se, dado $x_0 \in A$ existir, $r > 0$, $r = r(x_0)$, tal que $B(x_0, r) \subset A$.

Observação 1 Suponhamos que (X, p) seja um espaço métrico. Não é difícil provarmos alguns resultados, por isso não os mostraremos aqui:

1. A união de dois conjuntos abertos em X é um conjunto aberto em X .
2. A interseção de dois conjuntos abertos em X é um conjunto aberto em X .
3. A união qualquer de conjuntos abertos em X é um conjunto aberto em X .
4. A interseção finita de conjuntos abertos em X é um conjunto aberto em X .

Definição 6 (Conjunto Fechado em um Espaço Métrico) Suponhamos que (X, p) métrico e F um subconjunto de X . Diremos que F é fechado se F^c for aberto em (X, p) .

Observação 2 Suponhamos que (X, p) seja um espaço métrico. Do mesmo modo temos que:

1. A união de dois conjuntos fechados em X é um conjunto fechado em X .
2. A interseção de dois conjuntos fechados em X é um conjunto fechado em X .
3. A união finita conjuntos fechados em X é um conjunto fechado em X .
4. A interseção qualquer de conjuntos fechados em X é um conjunto fechado em X .

Definição 7 (Interior de um Conjunto) Sejam (X, ρ) um espaço métrico e A um subconjunto de X . O interior do conjunto A , denotado por $\text{int } A$, é o conjunto dos pontos $x_0 \in X$ com a seguinte característica: existe $r > 0$, $r = r(x_0)$, tal que $B(x_0, r) \subset A$. Em outras palavras, é o maior aberto contido em A , ou seja, é a união de todos os abertos de (X, ρ) contidos em A .

Definição 8 (Fecho de um Conjunto) Sejam (X, ρ) um espaço métrico e A um subconjunto de X . O fecho do conjunto A , denotado por \bar{A} , é o conjunto de todos os pontos $x_0 \in X$ com a seguinte propriedade: para qualquer $r > 0$, $B(x_0, r) \cap A \neq \emptyset$.

4 | CONVERGÊNCIA EM ESPAÇOS MÉTRICOS

As sequências desempenham um papel importante dentro da Análise Matemática, sendo que é a métrica dentro do conjunto dos números reais que nos permite definir o conceito de convergência. Vejamos como isso acontece:

Definição 11 (Sequência Convergente) Suponhamos que (X, ρ) seja um espaço métrico e que (x_n) seja uma sequência em (X, ρ) . Diremos que (x_n) converge para $x \in X$ se $\rho(x_n, x) \rightarrow 0$ quando $n \rightarrow \infty$. Quando (x_n) não for convergente diremos que (x_n) diverge.

Definição 12 (Conjunto Limitado e Sequência Limitada) Suponhamos que (X, ρ) seja um espaço métrico. Diremos que um subconjunto $M \subset X$ é limitado se seu diâmetro, dado por $\delta(M) = \sup\{\rho(x, y) : x, y \in M\}$ for finito. Ao considerarmos uma sequência (x_n) em (X, ρ) diremos que (x_n) é limitada se o conjunto de pontos correspondentes for um subconjunto limitado de X .

Segue diretamente da definição que, quando uma sequência for limitada existirão um real positivo r e um $x_0 \in X$, tais que $\{x_1, x_2, \dots, x_n, \dots\} \subset B(x_0, r)$.

Lema 1 Suponhamos que (X, ρ) seja um espaço métrico.

- a) Toda sequência convergente é limitada e seu limite é único.
- b) Se $x_n \rightarrow x$ e $y_n \rightarrow y$ em X , então $\rho(x_n, y_n) \rightarrow \rho(x, y)$.

Para definirmos completude, precisamos de uma propriedade adicional que um espaço métrico pode ou não ter, que tornará os espaços métricos completos muito mais interessantes e simples do que os espaços métricos não completos.

Definição 11 (Sequência de Cauchy) Suponhamos que (X, ρ) seja um espaço métrico e que $\{x_n\}$ seja uma sequência em (X, ρ) . Diremos que $\{x_n\}$ é uma sequência de Cauchy, ou simplesmente de Cauchy, se, dado $\varepsilon > 0$ existir um $n_0 > 0$ tal que $\rho(x_n, x_m) < \varepsilon$, para quaisquer $m, n > n_0$.

Os espaços que têm a propriedade de todas as sequências de Cauchy serem convergentes são importantes na organização do espaço e é denominada de

completude. Deste modo temos a seguinte definição:

Definição 12 (Espaço Métrico Completo) Suponhamos que (X, ρ) seja um espaço métrico. Diremos que (X, ρ) é um espaço métrico completo, ou simplesmente completo, quando toda sequência de Cauchy de (X, ρ) for convergente.

Os espaços métricos \mathbb{R} e C são espaços métricos completos. Já o espaço métrico \mathbb{Q} não é um espaço métrico completo, pois podemos construir sequências de números racionais que convergem para um número irracional.

Note que, dentro de um espaço métrico completo podemos tomar subespaços completos e subespaços incompletos. Por exemplo, o subespaço $[0, 1]$ é completo enquanto que o subespaço $(0, 1]$ é incompleto – tome a sequência $(\frac{1}{n})$ em $(0, 1]$ e observe que $\frac{1}{n} \rightarrow 0 \notin (0, 1]$.

Exemplo 7 $(C[a, b], \rho)$ é completo.

Com efeito, seja (f_n) uma sequência de Cauchy em $C[a, b]$, então dado $\varepsilon > 0$, existirá $n_0 \in \mathbb{N}$, tal que

$$\rho(f_n, f_m) < \varepsilon,$$

para quaisquer $m, n > n_0$, isto é,

$$\max_{t \in [a, b]} |f_n(t) - f_m(t)| < \varepsilon$$

para quaisquer $m, n > n_0$. Em particular temos que

$$|f_n(t) - f_m(t)| < \varepsilon$$

para todo $t \in [a, b]$ e para quaisquer $m, n > n_0$. Assim temos que a sequência (f_n) é de Cauchy em \mathbb{R} , para cada $t \in [a, b]$ fixo. Como \mathbb{R} é completo, para cada $t \in [a, b]$ temos que

$$f_n(t) \rightarrow f(t).$$

Considerando a função assim definida precisamos mostrar que $f_n \rightarrow f$ e que $f \in C[a, b]$.

Afirmção 1 $f \in C[a, b]$.

De fato, dado $t_0 \in [a, b]$, temos que

$$|f(t) - f(t_0)| \leq |f(t) - f_n(t)| + |f_n(t) - f_n(t_0)| + |f_n(t_0) - f(t_0)|.$$

Como $f_n(t) \rightarrow f(t)$, segue que existem $n_1, n_2 > 0$ tais que

$$|f_n(t) - f(t)| < \frac{\varepsilon}{3},$$

para todo $n > n_1$, e

$$|f_n(t_0) - f(t_0)| < \frac{\varepsilon}{3},$$

para todo $n > n_2$. Além disso, pela continuidade de f_n temos que existe $\delta > 0$ tal que se $|t - t_0| < \delta$, então

$$|f_n(t_0) - f(t_0)| < \frac{\varepsilon}{3},$$

para todo $n > n_2$. Logo, tomando $n_0 = \max\{n_1, n_2\}$ da primeira desigualdade segue que, se $|t - t_0| < \delta$, então

$$|f(t) - f(t_0)| < \frac{\varepsilon}{3} + \frac{\varepsilon}{3} + \frac{\varepsilon}{3} = \varepsilon,$$

para todo $n > n_0$, com $t, t_0 \in [a, b]$. Portanto f é contínua.

Afirmção 2: $f_n \rightarrow f$.

Com efeito, dado $\varepsilon > 0$, queremos encontrar $n_0 \in \mathbb{N}$ tal que

$$\rho(f_n, f) = \max_{t \in [a, b]} |f_n(t) - f(t)| < \varepsilon,$$

para todo $n > n_0$. Para isto basta considerarmos que

$$|f_n(t) - f(t)| < \varepsilon,$$

para quaisquer $n > n_0$ e $t \in [a, b]$. Como (f_n) é de Cauchy, existe $n_0 \in \mathbb{N}$ tal que

$$\rho(f_n, f_m) = \max_{t \in [a, b]} |f_n(t) - f_m(t)| < \frac{\varepsilon}{2},$$

para quaisquer $m, n > n_0$. Em particular

$$|f_n(t) - f_m(t)| < \frac{\varepsilon}{2},$$

para quaisquer $m, n > n_0$ e $t \in [a, b]$. Agora, tomando t fixo e fazendo $m \rightarrow \infty$ temos que

$$|f_n(t) - f(t)| \leq \frac{\varepsilon}{2} < \varepsilon,$$

para quaisquer $n > n_0$ e $t \in [a, b]$. Logo

$$\rho(f_n, f) = \max_{t \in [a, b]} |f_n(t) - f(t)| < \varepsilon,$$

para todo $n > n_0$ e $\varepsilon > 0$ dado. Portanto $C[a, b]$ é completo. ■

Porém se alterarmos a métrica pode haver alterações no espaço. Para isto basta tomarmos o mesmo espaço acima com uma outra métrica.

Exemplo 8 ($C[-1, 1], \rho_1$) não é completo, em que $\rho_1(f, g) = \int_{-1}^1 |f(t) - g(t)| dt$.

Com efeito, consideremos em $(C[-1, 1], \rho_1)$ a sequência de funções

$$f_n(t) = \begin{cases} 0, & -1 \leq t \leq 0, \\ nt, & 0 < t < \frac{1}{n}, \\ 1, & t = 1, \end{cases}$$

cujo gráfico é dado na Figura 1:

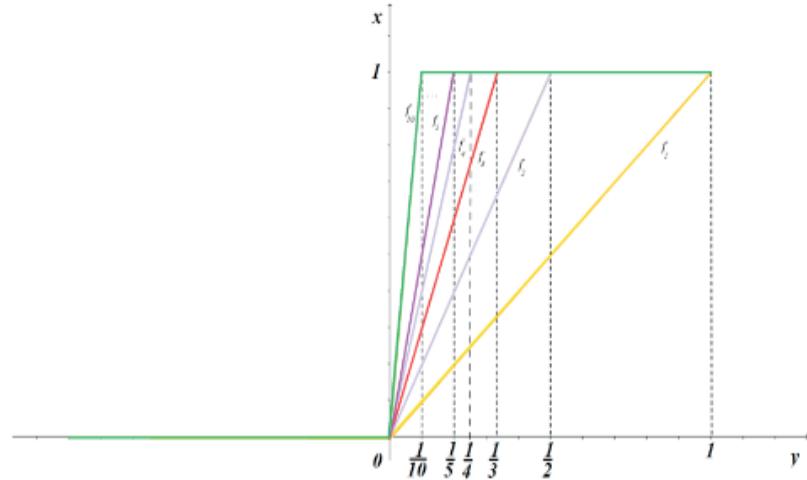


Figura 1- Sequência de funções

Primeiramente provaremos que a sequência (f_n) é de Cauchy, ou seja, que dado $\varepsilon > 0$ existe $n_0 \in \mathbb{N}$ tal que

$$\rho_1(f_n, f_m) < \varepsilon,$$

para todo $n > n_0$, ou seja, que, para todo $n > n_0$,

$$\int_{-1}^1 |f_n(t) - f_m(t)| dt < \varepsilon,$$

De fato, para verificarmos que a sequência f_n é de Cauchy, tomemos $\varepsilon > 0$ e consideremos $m < n$, pois, com isso, teremos que

$$\frac{1}{n} < \frac{1}{m},$$

daí

$$\begin{aligned} \int_{-1}^1 |f_n(t) - f_m(t)| dt &\leq \int_{-1}^0 |f_n(t) - f_m(t)| dt + \\ &+ \int_0^{\frac{1}{n}} |f_n(t) - f_m(t)| dt + \int_{\frac{1}{n}}^{\frac{1}{m}} |f_n(t) - f_m(t)| dt + \int_{\frac{1}{m}}^1 |f_n(t) - f_m(t)| dt \\ &= \int_{-1}^0 |0 - 0| dt + \int_0^{\frac{1}{n}} |nt - mt| dt + \int_{\frac{1}{n}}^{\frac{1}{m}} |1 - mt| dt + \int_{\frac{1}{m}}^1 |1 - 1| dt \\ &\leq (n - m) \int_0^{\frac{1}{n}} t dt + \int_{\frac{1}{n}}^{\frac{1}{m}} |1 - mt| dt = (n - m) \frac{t^2}{2} \Big|_0^{\frac{1}{n}} + \left[t - \frac{mt^2}{2} \right]_{\frac{1}{n}}^{\frac{1}{m}} \end{aligned}$$

Fazendo $m, n \rightarrow \infty$ temos que

$$\int_{-1}^1 |f_n(t) - f_m(t)| dt \rightarrow 0.$$

Assim,

$$\int_{-1}^1 |f_n(t) - f_m(t)| dt < \varepsilon,$$

para m e n suficientemente grandes. Logo existe $n_0 > 0$ tal que

$$\int_{-1}^1 |f_n(t) - f_m(t)| dt < \varepsilon,$$

para quaisquer $m, n > n_0$. Portanto $f_n(t)$ é de Cauchy.

Essa sequência é de Cauchy, porém ela é converge para uma função

$$f(t) = \begin{cases} 0, & -1 \leq t \leq 0, \\ 1, & 0 < t \leq 1. \end{cases}$$

que, como podemos perceber na Figura 2, não é contínua.

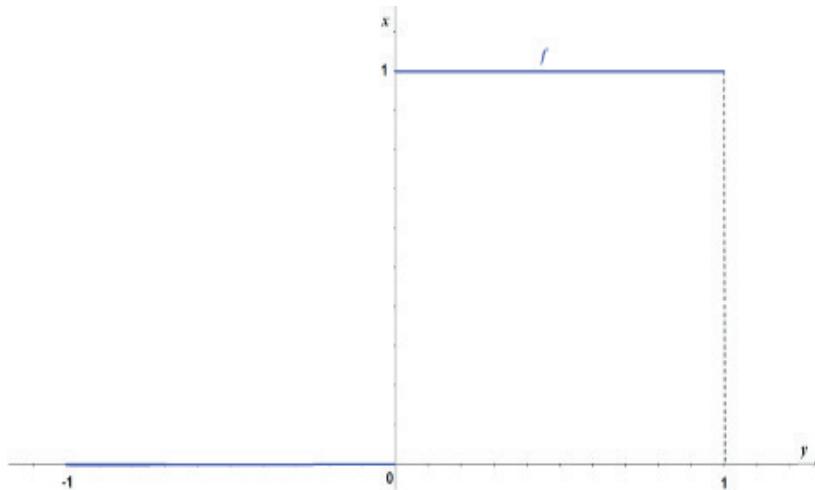


Figura 2 - Gráfico da função f .

Portanto o espaço $(C[-1,1], \rho_1)$ não é completo com esta métrica.

A propriedade de completeza é importante para demonstrarmos diversos resultados. Assim, a pergunta que se coloca é: Será que, dado um espaço métrico (X, p) é possível completá-lo? Ou ainda: será que é possível encontrarmos um espaço métrico completo que possua uma métrica que preserve as distâncias de p na qual o espaço X esteja imerso? Para respondermos a essas perguntas precisamos de alguns conceitos adicionais:

Definição 13 (Isometria) Sejam (X, ρ) e (Y, σ) espaços métricos. Diremos que a aplicação $T: (X, \rho) \rightarrow (Y, \sigma)$ é uma isometria se

$$\sigma(T(x_1), T(x_2)) = \rho(x_1, x_2),$$

para quaisquer $x_1, x_2 \in X$. Neste caso diremos que (X, ρ) e (Y, σ) são isométricos.

Agora temos condições de provar que todo espaço métrico está densamente imerso em um espaço métrico completo. Como sua demonstração é bem complexa, iremos dividir a prova em oito partes.

Teorema 1: Seja (X, p) um espaço métrico. Então existe um espaço métrico completo (\tilde{X}, \tilde{p}) e $W \subset \tilde{X}$ tais que (W, \tilde{p}) é isométrico a (X, p) e W é denso em (\tilde{X}, \tilde{p}) . Além disso, se (\bar{X}, \bar{p}) for outro espaço métrico completo com subconjunto W' tal que (W', \bar{p}) for isométrico a (X, p) e W' for denso em (\bar{X}, \bar{p}) então (\tilde{X}, \tilde{p}) e (\bar{X}, \bar{p}) serão isométricos.

Demonstração: Suponhamos que (X, p) seja um espaço métrico.

Iremos construir um espaço métrico completo $(\tilde{X}, \tilde{\rho})$ a partir de (X, ρ) de modo que (X, ρ) esteja densamente imerso em $(\tilde{X}, \tilde{\rho})$

Como já vimos, \mathbb{R}^n munido com a métrica usual é um espaço métrico completo.

Seja S o conjunto de todas as sequências de Cauchy em X e consideremos a seguinte relação sobre S :

$$(x_n) \sim (y_n) \Leftrightarrow \rho(x_n, y_n) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0.$$

Afirmção 1: \sim é uma relação de equivalência sobre S

Com efeito,

- Reflexiva: Para qualquer sequência (x_n) em X temos que

$$\rho(x_n, x_n) = 0,$$

daí $\rho(x_n, x_n) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0$ e, daí, $(x_n) \sim (x_n)$. Portanto \sim é reflexiva.

- Simétrica: Para quaisquer sequências (x_n) e (y_n) em X tais que $(x_n) \sim (y_n)$, temos que

$$\rho(x_n, y_n) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0,$$

mas $\rho(x_n, y_n) = \rho(y_n, x_n)$, daí,

$$\rho(y_n, x_n) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0,$$

e, assim, $(y_n) \sim (x_n)$. Portanto \sim é simétrica.

- Transitiva: Para quaisquer sequências (x_n) , (y_n) e (z_n) em X tais que $(x_n) \sim (y_n)$ e $(y_n) \sim (z_n)$, temos que

$$\rho(x_n, y_n) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0 \quad \text{e} \quad \rho(y_n, z_n) \xrightarrow{n \rightarrow \infty} 0$$

assim, dado $\varepsilon > 0$ existem índices n_1 e n_2 tais que

$$\rho(x_n, y_n) < \frac{\varepsilon}{2}$$

para todo $n \geq n_1$, e

$$\rho(y_n, z_n) < \frac{\varepsilon}{2}$$

para todo $n \geq n_2$. Assim, tomando $n_0 = \max\{n_1, n_2\}$ e utilizando a Desigualdade Triangular segue, para todo $n \geq n_0$, que

$$\rho(x_n, z_n) \leq \rho(x_n, y_n) + \rho(y_n, z_n) < \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\varepsilon}{2} = \varepsilon,$$

Assim $\rho(x_n, z_n) \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{} 0$ e, daí $(x_n) \sim (z_n)$. Portanto \sim é transitiva.

Como é reflexiva, simétrica e transitiva segue que \sim é uma relação de equivalência.

Como toda relação de equivalência determina uma partição, consideremos \tilde{X} o conjunto de todas as classes de equivalência de S .

Notemos que, para cada $x \in X$ temos que a sequência (x, x, x, \dots) é uma sequência de Cauchy em X e, portanto existe uma classe de equivalência em \tilde{X} tal que x pertence a esta classe. Assim, a partir de agora, designaremos a classe a qual x pertence por $a(x)$.

Observemos também que, se tivermos $(x_n), (y_n) \in \tilde{X}$ então $\rho(x_n, y_n)$ será uma sequência de Cauchy de números reais, pois

$$\begin{aligned} |\rho(x_n, y_n) - \rho(x_m, y_m)| &= |\rho(x_n, y_n) - \rho(x_n, y_m) + \rho(x_n, y_m) - \rho(x_m, y_m)| \\ &\leq |\rho(x_n, y_n) - \rho(x_n, y_m)| + |\rho(x_n, y_m) - \rho(x_m, y_m)| \\ &\leq |\rho(y_n, y_m)| + |\rho(x_n, x_m)| \end{aligned}$$

e, como $(x_n), (y_n) \in X$, segue que

$$\rho(x_n, x_m) \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{} 0 \quad \text{e} \quad \rho(y_n, y_m) \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{} 0$$

e, assim $(\rho(x_n, y_n))$ é de Cauchy e, como \mathbb{R} é completo segue que $(\rho(x_n, y_n))$ é convergente.

Defina sobre \tilde{X} a aplicação $\tilde{\rho}: \tilde{X} \times \tilde{X} \rightarrow \mathbb{R}$ dada por

$$\tilde{\rho}(\alpha, \beta) = \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n, y_n)$$

em que $(x_n) \in \alpha$ e $(y_n) \in \beta$.

Afirmção 2: $\tilde{\rho}$ está bem definida, ou seja, $\tilde{\rho}(\alpha, \beta)$ independe da escolha de $(x_n) \in \alpha$ e $(y_n) \in \beta$.

De fato, sejam $(x_n), (x'_n) \in \alpha$ e $(y_n), (y'_n) \in \beta$, então

$$(x_n) \sim (x'_n) \quad \text{e} \quad (y_n) \sim (y'_n),$$

daí,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n, x'_n) = 0 \quad \text{e} \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(y_n, y'_n) = 0.$$

Notemos, pela Desigualdade Triangular, que

$$\rho(x_n, y_n) \leq \rho(x_n, x'_n) + \rho(x'_n, y'_n) + \rho(y'_n, y_n)$$

Assim, passando o limite, obtemos

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n, y_n) \leq \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n, x'_n) + \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x'_n, y'_n) + \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(y'_n, y_n)$$

e, como $\lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n, x'_n) = 0$ e $\lim_{n \rightarrow \infty} \rho(y'_n, y_n) = 0$, segue que

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n, y_n) \leq \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x'_n, y'_n)$$

Analogamente, provamos que

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x'_n, y'_n) \leq \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n, y_n)$$

Logo temos que

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n, y_n) = \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x'_n, y'_n)$$

Deste modo temos que $\tilde{\rho}$ não depende da escolha de $(x_n) \in \alpha$ e $(y_n) \in \beta$.

Afirmção 3: $\tilde{\rho}$ é uma métrica em \tilde{X} .

Com efeito.

- Notemos que, para qualquer $\alpha \in \tilde{X}$, temos

$$\tilde{\rho}(\alpha, \alpha) = \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n, x_n) = \lim_{n \rightarrow \infty} 0 = 0,$$

em que $(x_n) \in \alpha$.

- Para quaisquer $\alpha, \beta \in \tilde{X}$, suponhamos que $\tilde{\rho}(\alpha, \beta) = 0$. Assim,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n, y_n) = 0,$$

em que $(x_n) \in \alpha$ e $(y_n) \in \beta$. Mas isto nos leva a $\alpha = \beta$ devido ao fato de $\tilde{\rho}$ estar bem definida.

- Suponhamos que $\alpha, \beta \in \tilde{X}$, com $(x_n) \in \alpha$ e $(y_n) \in \beta$, daí,

$$\tilde{\rho}(\alpha, \beta) = \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n, y_n) = \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(y_n, x_n) = \tilde{\rho}(\beta, \alpha).$$

Portanto, $\tilde{\rho}(\alpha, \beta) = \tilde{\rho}(\beta, \alpha)$.

- Suponhamos que $\alpha, \beta, \gamma \in \tilde{X}$, com $(x_n) \in \alpha$, $(y_n) \in \beta$ e $(z_n) \in \gamma$, então

Portanto,

$$\tilde{\rho}(\alpha, \beta) \leq \tilde{\rho}(\alpha, \gamma) + \tilde{\rho}(\gamma, \beta).$$

Portanto $\tilde{\rho}$ é uma métrica sobre \tilde{X} .

Afirmção 4: O espaço métrico $(\tilde{X}, \tilde{\rho})$ é completo.

De fato, se (x^k) for uma sequência de Cauchy em \tilde{X} então tomemos $x \in x^k = (x_n^k) \in \tilde{x}^k$. Temos que

$$\tilde{\rho}(x^k, \tilde{x}^l) = \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n^k, x_n^l).$$

Agora, como $x^k = (x_n^k)$ é uma sequência de Cauchy, para cada $k \in \mathbb{N}$ existe um $n_k \in \mathbb{N}$, com $n_k > k$, tal que

$$\tilde{\rho}(x_{n_k}^k, x_{n_l}^l) < \frac{1}{k}$$

para todo $n \geq n_k$. Escolhemos $x = (x_{n_k}^k)$.

Afirmção 5: x é uma sequência de Cauchy.

Com efeito, se y^k for a sequência constante $(x_{n_k}^k, x_{n_k}^k, x_{n_k}^k, x_{n_k}^k, \dots)$ e $\tilde{y}^k = [y^k]$ temos que

$$\rho(x_{n_k}^k, x_{n_l}^l) = \tilde{\rho}(y^k, \tilde{y}^l) \leq \tilde{\rho}(y^k, \tilde{x}^k) + \tilde{\rho}(\tilde{x}^k, x_{n_l}^l) + \tilde{\rho}(x_{n_l}^l, \tilde{y}^l) \leq \frac{1}{k} + \tilde{\rho}(x^k, \tilde{x}^l) + \frac{1}{l}$$

Assim

$$\rho(x_{n_k}^k, x_{n_l}^l) \xrightarrow{k, l \rightarrow \infty} 0.$$

Portanto podemos tomar \tilde{x} a classe de equivalência de X .

Afirmção 6: $\tilde{\rho}(x_l, \tilde{x}) \xrightarrow{l \rightarrow \infty} 0$.

De fato, temos que

$$\tilde{\rho}(x_l, \tilde{x}) = \lim_{k \rightarrow \infty} \rho(x_k^l, x_{n_k}^l)$$

e que, dado $\varepsilon > 0$ existe um índice $n_0 \in \mathbb{N}$ tal que

$$\frac{1}{n_0} < \frac{\varepsilon}{2} \quad \text{e} \quad \rho(x_{n_l}^l, x_{n_k}^k) < \frac{\varepsilon}{2}$$

para todo $l, k \geq n_0$. Tomando $l \geq n_0$ e $k = \max\{n_0, n_l\}$, temos que

$$\rho(x_k^l, x_{n_k}^l) \leq \rho(x_k^l, x_{n_l}^l) + \rho(x_{n_l}^l, x_{n_k}^k) < \frac{1}{n_0} + \frac{\varepsilon}{2} < \varepsilon$$

Logo,

$$\tilde{\rho}(x_l, \tilde{x}) < \varepsilon,$$

para $l \geq n_0$ e, assim

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{\rho}(x_n, \tilde{x}) = 0.$$

Agora, seja

$$\tilde{X}_0 = \{[(x)]: x \in X\} \subset \tilde{X}$$

e consideremos a aplicação $T: X \rightarrow \tilde{X}$ dada por

$$T(x) = [(x)].$$

Claramente temos que T é uma isometria de X em \tilde{X} .

Afirmção 7: \tilde{X}_0 é denso em \tilde{X} .

Com efeito, se $\tilde{x} = [(x)] \in \tilde{X}$ então tomemos a sequência em \tilde{X}_0 dada por $\tilde{x}_n = [(x_n, x_n, x_n, \dots)]$. Notemos que, como (x_n) é uma sequência de Cauchy, dado $\varepsilon > 0$ existe um índice $n_0 \in \mathbb{N}$ tal que

$$\rho(x_n, x_m) < \varepsilon$$

para quaisquer $m, n > n_0$. Assim

$$\tilde{\rho}(x_n, \tilde{x}) = \lim_{n \rightarrow \infty} \rho(x_n, x_m) \leq \varepsilon,$$

para quaisquer $m, n > n_0$. Logo,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \tilde{\rho}(x_n, \tilde{x}) = 0.$$

Afirmção 8: \tilde{X} é único, a mesmo de isometria.

De fato, suponhamos que existam \tilde{X} e \bar{X} espaços métricos completos e isometrias $T: X \rightarrow \tilde{X}$ e $U: X \rightarrow \bar{X}$, cujas imagens sejam densas. Definamos

$$V = U \circ T^{-1}: \tilde{X} \rightarrow \bar{X}.$$

Como U e T são isometrias, segue que $U \circ T^{-1}$ é uma isometria e, portanto, \tilde{X} e \bar{X} são isométricos. ■

Com isso temos que qualquer espaço métrico está densamente imerso em um espaço métrico completo. Note que os espaços (X, ρ) e $(\tilde{X}, \tilde{\rho})$ são isométricos, ou seja, calcular a distância em um espaço é o mesmo que calcular a distância em outro espaço.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, A. N. **Análise I**. Notas de Aula. São Xarlos: ICMC, 2007. Disponível em <<http://conteudo.icmc.usp.br/pessoas/andcarva/analise.pdf>>. Acesso em: 17 out 2016.
- HÖNIG, C. S. Aplicações da Topologia à Análise. 1^a ed. IMPA. Rio de Janeiro, 1976.
- HÖNIG, C. S. **Análise Matemática**, IME/USP, 1987.
- KREYSIG, E. **Introductory Functional Analysis with Applications**. John Wiley & Sons. Inc, 1978.
- MUNKRES, J. R. **Topology**, 2 ed, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2000.
- NACHBIN, L.. **Introdução à Análise Funcional**: Espaços de Banach e Cálculo Diferencial, Série de Matemática - monografia no. 17. Washington D. C.: The General Secretariat of the Organization of American States, 1976.

REGRESSÃO POLINOMIAL DE TERCEIRA ORDEM NA DEFORMAÇÃO DE ELÁSTICOS DE BORRACHA

Thales Cerqueira Mendes

Instituto Federal Baiano, Senhor do Bonfim - BA.

Yasmim Brasileiro de Castro Monteiro

Instituto Federal Baiano, Senhor do Bonfim - BA.

Luana da Silva Souza

Instituto Federal Baiano, Senhor do Bonfim - BA.

Lívia Nildete Barauna dos Santos

Instituto Federal Baiano, Senhor do Bonfim - BA.

Ester Vitória Lopes dos Santos

Instituto Federal Baiano, Senhor do Bonfim - BA.

do Instituto Federal de Baiano – *Campus* Senhor do Bonfim, em momentos extraclasse. Os resultados inferem uma relação não-linear, o que difere da Lei de Hooke. Ela aplica-se, somente, em 22,6 % da extensão do elástico para $R^2 = 99,2\%$.

PALAVRAS-CHAVE: Regressão polinomial, Lei de Hooke, Não-linearidade.

THIRD-ORDER POLYNOMIAL REGRESSION IN THE FORMATION OF RUBBER BANDS

ABSTRACT: Hooke's Law infers a linear relationship between a force applied to an elastic body and one sustained by that body. This relationship is associated with an elastic constant (an elastic identity of the body). The origin of an elastic body returned to its original condition after being deformed. Some materials such as blowballs, which have elasticity, when filled, initially have a resistance. This is distinct from the applications of Hooke's Law. In this context, oporter prove in such an application by experimenting with Japanese rubber. The work presents a quantitative approach, with characteristics of an experimental investigation. The experiment was carried out by four students from the Technical School in Agricultural and High School, from the Federal Institute of Baiano - *Campus* of Senhor do Bonfim, in extra - class moments. The results infer a nonlinear

RESUMO: A Lei de Hooke infere uma relação linear entre a força aplicada em um corpo elástico e a deformação sofrida por esse corpo. A essa relação, associa-se uma constante elástica (uma identidade elástica do corpo). É propriedade de um corpo elástico retornar a sua condição original depois de ter sido deformado. Alguns materiais como os balões de soprar, que possuem elasticidade, ao serem enchidos, apresentam no início uma resistência. Isso está distinto da aplicação da Lei de Hooke. Nesse contexto, o projeto consiste em verificar a aplicação dessa Lei através da experimentação com elásticos de borracha japonês. O trabalho apresenta enfoque quantitativo, com características de uma investigação experimental. O experimento foi realizado por quatro alunas do curso Técnico em Agropecuária integrado ao Ensino Médio,

relationship, which differs from Hooke's Law. The application is only 22.6% of the elastic extension to $R^2 = 99.2\%$.

KEYWORDS: Polynomial Regression, Hooke's Law, Nonlinearity.

1 | INTRODUÇÃO

Quando aplicamos uma força em um ponto material, o efeito que observamos se associa com a aceleração. Quando aplicamos uma força em um corpo extenso, podemos observar outro efeito além da aceleração: a deformação do corpo. Há vários fenômenos nos quais o efeito mais importante é a deformação, como no caso das molas. As molas tendem a se deformar ao receber uma força em sua extremidade (HALLIDAY et al., 2009).

Seja uma mola helicoidal, como a ilustrada na Figura 1. Aplicando-se uma força à extremidade livre da mola, ela tem uma deformação x .

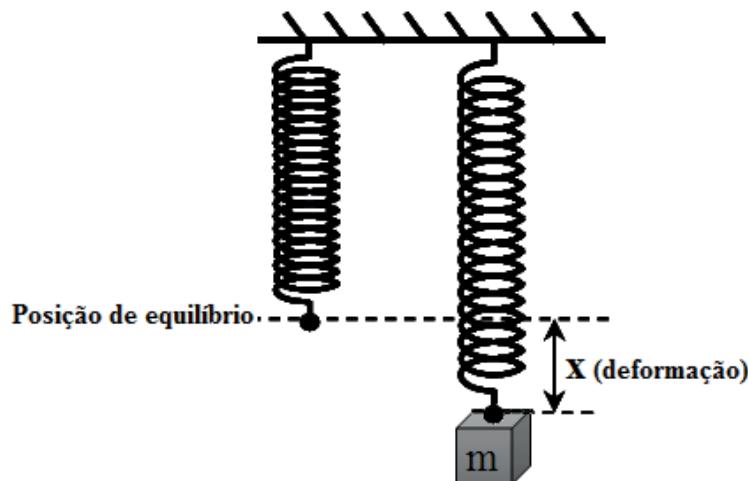


Figura 1 - Deformação da mola.

Observa-se que, dentro de certos limites, a deformação x é diretamente proporcional à força aplicada à extremidade livre da mola (força Peso da massa m). A força elástica F_{el} é de restauração e por consequência, na posição de equilíbrio (força resultante é nula) tem valor igual ao da citada força. Essa lei de proporcionalidade foi enunciada pelo cientista Robert Hooke e é analiticamente representada por:

$$|F_{el}| = k \cdot |x|$$

1

Onde, k é a constante elástica da mola. A constante da mola depende de ela ser mais ou menos rígida, ou seja, depende de suas características físicas (HALLIDAY et al, 2009). Outra notação comum para a força elástica, em uma dimensão, é:

$$F_{el} = -k \cdot x$$

2

Para essa notação: $x=0$ é o ponto de equilíbrio da mola (não há deformação); $x>0$ são valores quando se estica a mola em relação a ponto de equilíbrio (elongação); $x<0$ são valores quando se comprime a mola em relação ao ponto de equilíbrio (compressão). O valor negativo da força tem significado físico e representa que a força elástica é de restauração à posição de equilíbrio. Está sempre contrária ao sentido de x (HALLIDAY *et al*, 2009).

Tomando somente a deformação, em módulo, de uma mola em extensão, a força elástica, F_{el} , pode ser representada por:

$$\begin{array}{l} y = A \cdot x + B \\ \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \\ F_{el} = k \cdot x + 0 \end{array}$$

3

Notadamente a *Equação 1* é polinomial de 1^a ordem (linear).

Porém, frequentemente se encontra aplicações da Lei de Hooke na deformação de corpos. Alguns materiais como os balões de soprar, que possuem elasticidade, ao serem enchidos, apresentam no início uma resistência maior. Isso está distinto da aplicação da Lei de Hooke. Deveria ser menor devido à pouca deformação. Nesse contexto, o trabalho consiste em verificar a aplicação dessa Lei através da experimentação com elásticos de borracha japonês.

2 | METODOLOGIA

O trabalho apresenta enfoque quantitativo, com características de uma investigação experimental (ALVARENGA, 2008). O experimento foi realizado por quatro alunas do curso Técnico em Agropecuária integrado ao Ensino Médio, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – *Campus Senhor do Bonfim*, em momentos extraclasse.

Para a realização desse experimento, foi utilizado os seguintes materiais: uma régua de 50 cm, uma balança de precisão, arruelas, argolas, suportes e elástico de borracha japonês.

Segue os procedimentos para coleta dos dados conforme Figura 2:

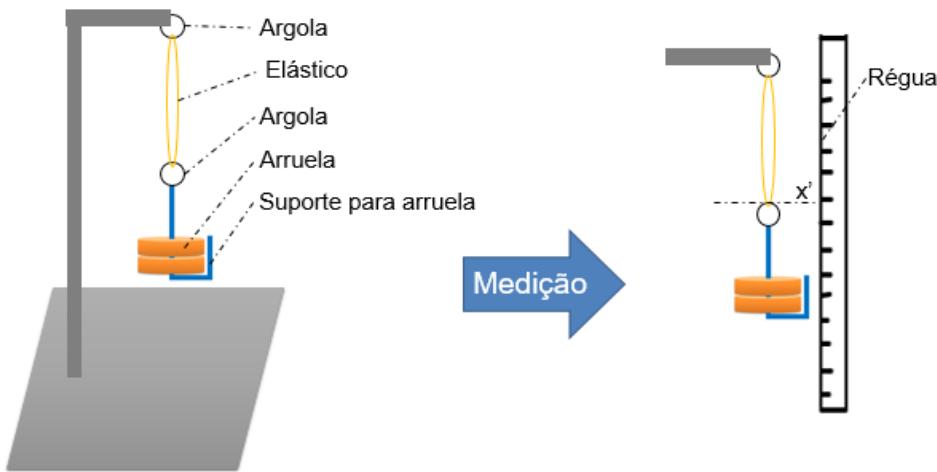


Figura 2 - Esquema do aparato experimental.

1. Prendem-se uma argola, o elástico e outra argola (no suporte para arruelas) em um suporte grande. Com uma régua coleta-se a posição inicial, ;
2. Na balança coleta-se a massa (m') das arruelas;
3. Colocam-se as arruelas no suporte de arruelas, o elástico se deforma e coleta-se o valor dessa nova posição na régua (x');
4. Repetem-se os passos 2 e 3 até o rompimento do elástico;
5. Os dados coletados foram compilados em planilhas para tratamento estatístico;
6. Análise estatística composta por:
 - um gráfico de dispersão da constante elástica, k , pela deformação, x , para verificar a adequação dos dados à Lei de Hooke;
 - identificação de *outlier*;
 - um gráfico de dispersão da constante elástica, k , pela deformação, x , sem outlier;
 - quatro testes de normalidade incluindo o papel da probabilidade e QQ-plot em Anderson- Darling;
 - um gráfico da força elástica, F_{el} , pela deformação, x , com regressão linear e coeficiente de determinação, para dedução conforme a Lei de Hooke;
 - um gráfico da força elástica, F_{el} , pela deformação, x , com regressão polinomial de 3^a ordem e coeficiente de determinação para buscar uma equação que corresponda aos dados coletados;
 - um gráfico da força elástica, F_{el} , pela deformação, x , com regressão linear e coeficiente de determinação para se determinar onde a Lei de Hooke é aplicada com confiabilidade.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados coletados foram compilados em planilhas para tratamento estatístico

e seguem na Tabela 1. N° é o número de coletas de dados na régua; x' e m' se referem a coleta de dados na régua e na balança, respectivamente; x é a medida da elongação do elástico; m é massa no suporte; F_{el} é o valor da força elástica, obtida pelo equilíbrio com a força Peso no suporte; k é a constante elástica obtida pela Lei de Hooke.

N°	x' (cm)	m' (g)	x (cm)	m (g)	F_{el} (N)	k (N/m)
1	49,6	-	-	-	-	-
2	49,3	40,6	0,3	40,6	0,4	132,4*
3	48,2	40,4	1,4	81,0	0,8	56,6*
4	48,1	41,2	1,5	122,2	1,2	79,7
5	47,2	41,3	2,4	163,5	1,6	66,6
6	46,3	40,8	3,3	204,3	2,0	60,5
7	44,9	41,3	4,7	245,6	2,4	51,1
8	43,2	41,3	6,4	286,9	2,8	43,8
9	41,5	40,6	8,1	327,5	3,2	39,5
10	39,9	41,5	9,7	369,0	3,6	37,2
11	38,2	40,7	11,4	409,7	4,0	35,1
12	36,7	41,3	12,9	451,0	4,4	34,2
13	35,1	40,9	14,5	491,9	4,8	33,2
14	33,5	41,9	16,1	533,8	5,2	32,4
15	32,3	41,2	17,3	575,0	5,6	32,5
16	31,0	47,9	18,6	622,9	6,1	32,8
17	29,6	40,9	20,0	663,8	6,5	32,5
18	28,7	40,7	20,9	704,5	6,9	33,0
19	27,9	41,8	21,7	746,3	7,3	33,6
20	27,1	41,7	22,5	788,0	7,7	34,3
21	26,0	40,5	23,6	828,5	8,1	34,3
22	25,4	40,6	24,2	869,1	8,5	35,1
23	24,8	41,0	24,8	910,1	8,9	35,9
24	24,3	41,5	25,3	951,6	9,3	36,8
25	23,8	40,6	25,8	992,2	9,7	37,6
26	23,1	56,8	26,5	1049,0	10,3	38,7
27	22,4	50,0	27,2	1099,0	10,7	39,5
28	21,7	49,9	27,9	1148,9	11,2	40,3
29	21,2	49,8	28,4	1198,7	11,7	41,3
30	20,6	49,9	29,0	1248,6	12,2	42,1
31	20,0	50,0	29,6	1298,6	12,7	42,9
32	19,7	51,6	29,9	1350,2	13,2	44,2
33	19,3	50,0	30,3	1400,2	13,7	45,2
34	18,8	50,0	30,8	1450,2	14,2	46,0
35	18,2	49,9	31,4	1500,1	14,7	46,7
36	17,9	50,0	31,7	1550,1	15,2	47,8
37	17,7	45,1	31,9	1595,2	15,6	48,9
38	17,5	45,2	32,1	1640,4	16,0	50,0

Tabela 1 – Dados coletados e tratamento.

Para verificar os dados e sua adequação com a Lei de Hooke, fez-se um gráfico de dispersão da constante elástica, k , pela deformação, x (Figura 3). Dois pontos parecem estar desalinhados – são os pontos marcados com * na Tabela 1. São outlier e foram suprimidos para as análises que seguem.

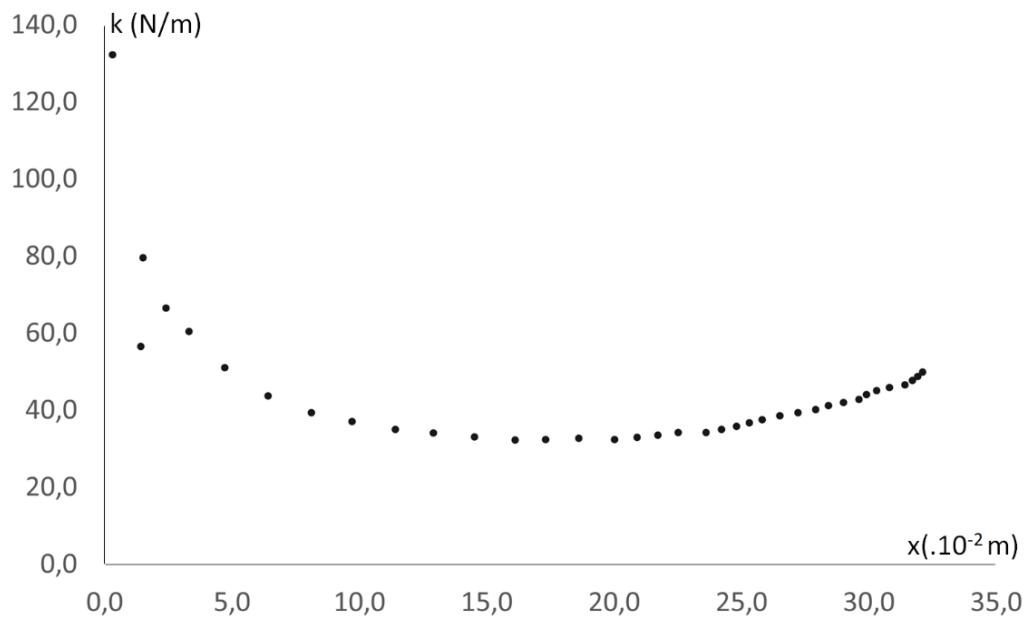


Figura 3 - Gráfico de dispersão (k por x) com outlier.

Na Figura 4 é possível perceber que a linha imaginária que liga os pontos não denota uma reta constante. Na Lei de Hooke k é uma constante.

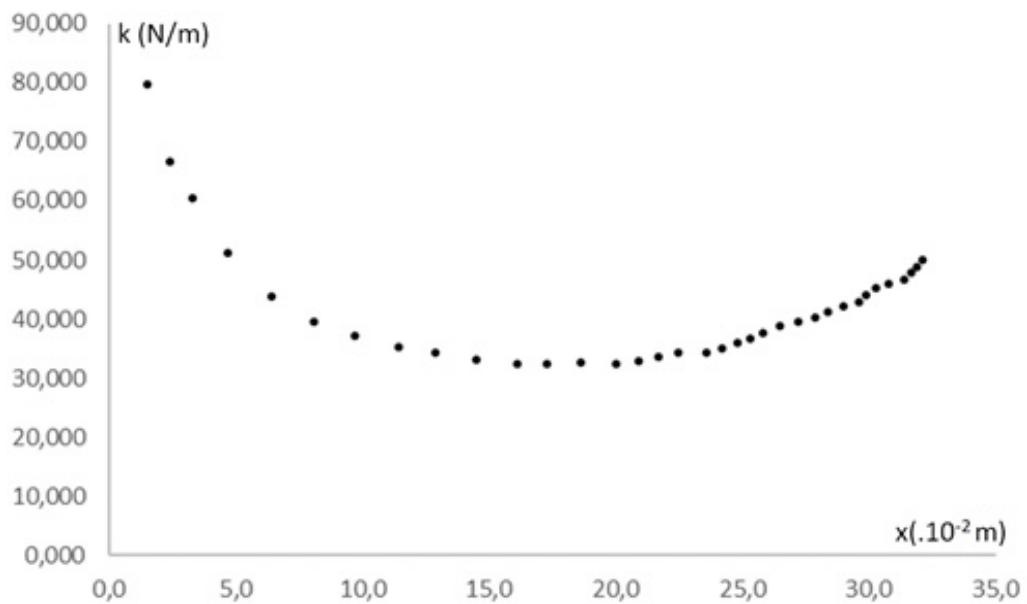


Figura 4 - Gráfico de dispersão (k por x) sem outlier.

Com a suspeita de não adequação para a Lei de Hooke (Figura 4), passa-se para sua comprovação. Buscou-se, refutar a tendência central da constante elástica, k . Para isso, foram aplicados quatro testes de normalidade que seguem na Tabela 2.

Teste de Normalidade	Estatísticas	p-valor
Anderson - Darling	1,855446744	0,0001
Kolmogorov - Smirnov	0,181035791	0,0052
Shapiro - Wilk	0,801408322	0,0000
Ryan - Joiner	0,891280497	0,0000

Tabela 2 - Teste de normalidade (nível de confiança = 95%).

O p-valor menor que 5% nos testes indica refutação da hipótese inicial de normalidade. Ainda, em três teste (Anderson – Darling, Shapiro – Wilk e Ryan – Joiner) esse valor é aproximadamente 0,0% e em Kolmogorov – Smirnov, 1,0%, reforçando a não normalidade dos dados.

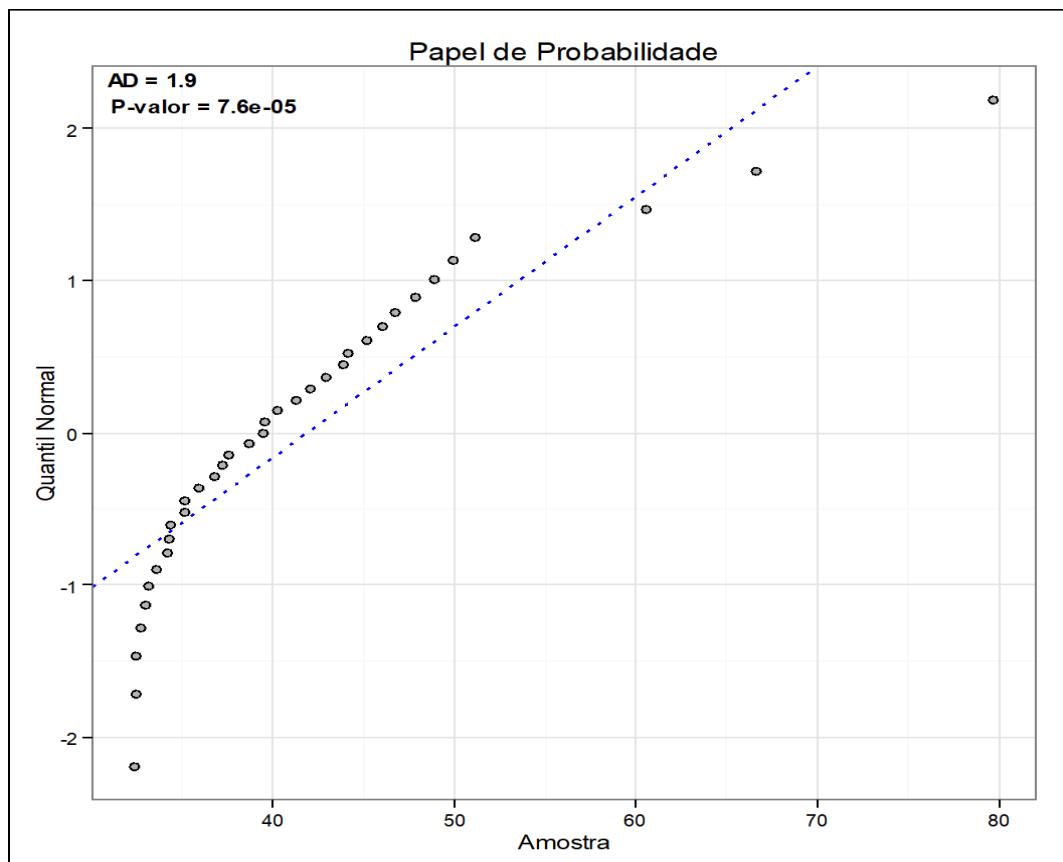


Figura 5 - Gráfico do papel da probabilidade em Anderson – Darling.

O gráfico da Figura 6 que mostra o papel da probabilidade e o da Figura 7 que é um QQ-plot, realizados em Anderson – Darling ajudam a perceber e comprovar a não normalidade dos valores da constante elástica. No primeiro, os pontos estão espalhados disformemente em relação a linha tracejada em azul. No segundo gráfico, não há uma homogeneidade em relação a linha tracejada em azul na região delimitada pelas linhas tracejadas em vermelho.

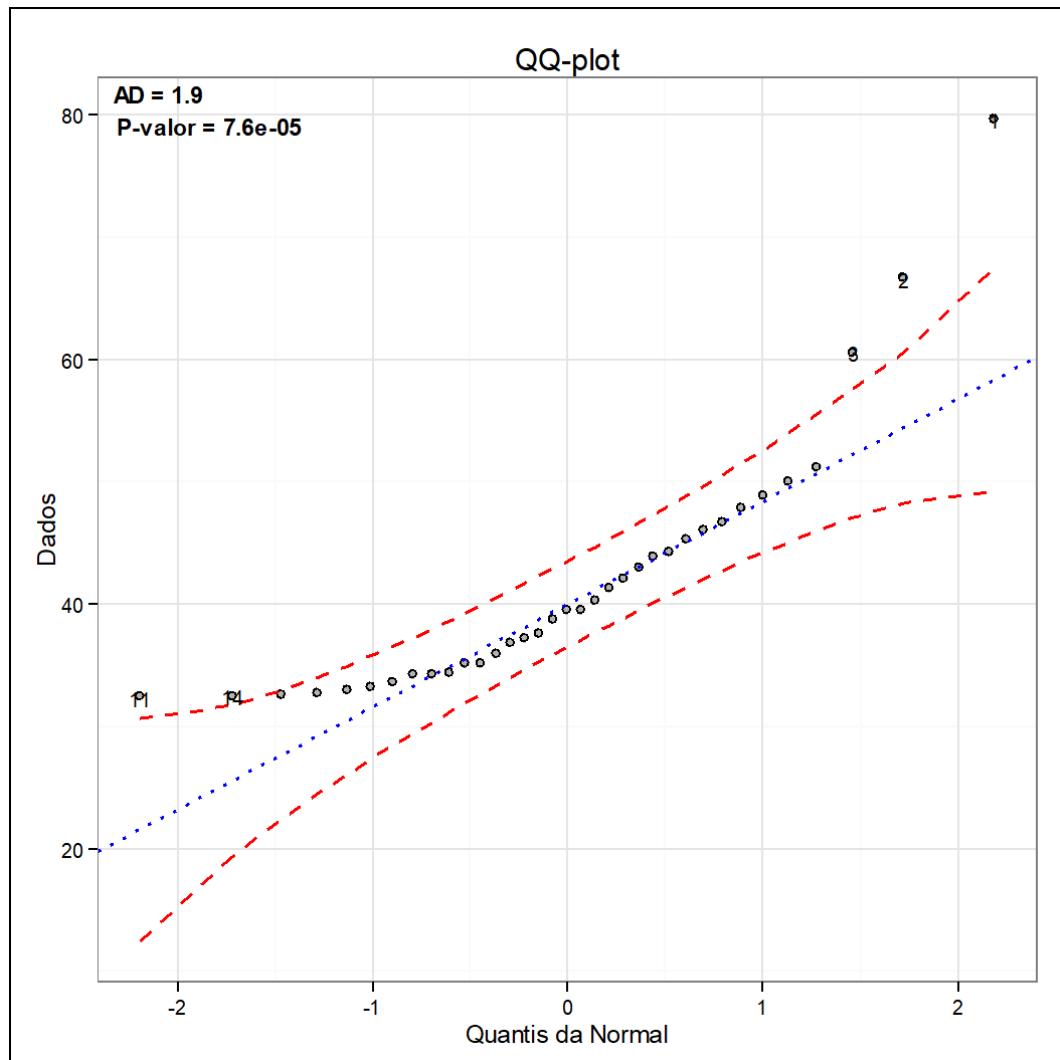


Figura 6 - Gráfico QQ-plot em Anderson – Darling.

Dessa forma, é possível afirmar que não há tendência central e, portanto, não faz sentido falar de constante, uma vez que k varia. Agora buscar-se-á responder: Se k varia, como ele varia?

Fez-se um gráfico da força elástica, F_{el} , pela deformação, x , com regressão linear e coeficiente de determinação, R^2 (Figura 7). Percebe-se que a linha da regressão destoa da configuração dos pontos e isso se reflete no R^2 (aproximadamente 92,2%), valor baixo para comprovação de uma Lei. Outro fato é o valor de k (aproximadamente 0,4 N/m). Os valores na Tabela 1 são muito diferentes deste valor, o que comprova a suspeita anterior (inconstância de k).

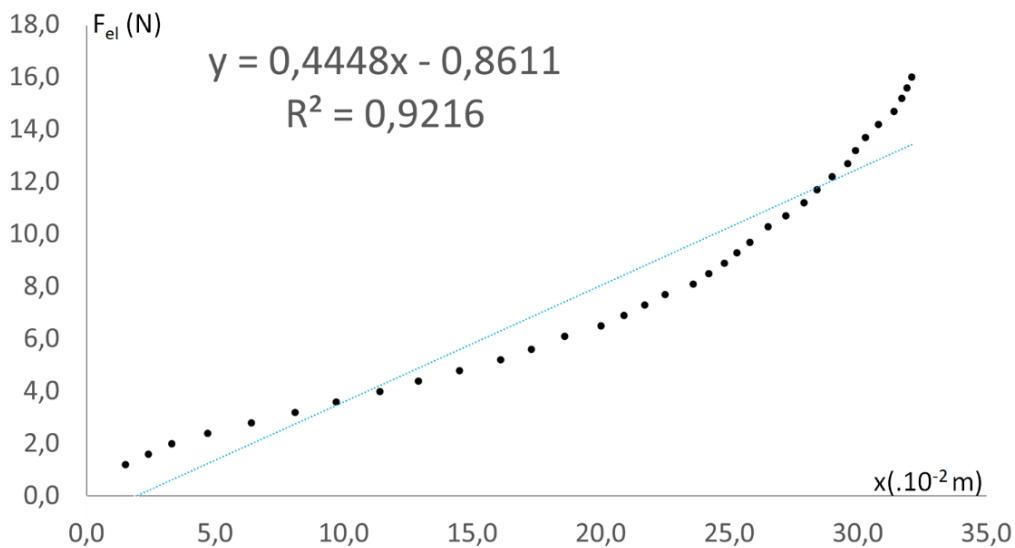


Figura 7 - Gráfico (F_{el} por x) e regressão linear.

Com essa confirmação, partiu-se para buscar uma equação que descreva os dados coletados no experimento.

Foi feito um gráfico da força elástica, F_{el} , pela deformação, x , com regressão polinomial de 3^a ordem que se adequou satisfatoriamente (Figura 8). Isso é comprovado pelo valor do R^2 que é aproximadamente 100,0%. Dessa forma, o coeficiente de correlação, R , tem valor 0,9997 e é aproximadamente 100,0%, como o R^2 . Comprova que há relação forte entre a força elástica e a elongação do elástico. Porém, a Lei de Hooke não pode ser aplicada aqui devido a não-linearidade.

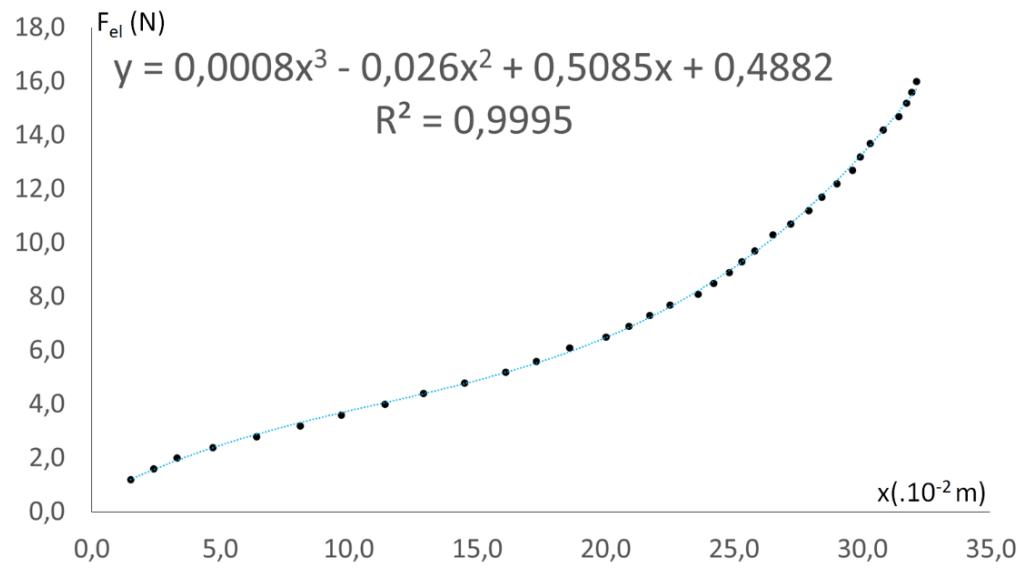


Figura 8 - Gráfico (F_{el} por x) e regressão polinomial de 3^a ordem.

Passou-se a buscar onde a Lei de Hooke poderia ser utilizada nessa experimentação. Em qual aproximação? Os dados da *Tabela 1* foram filtrados até chegar em um intervalo de confiança ($R^2 > 99\%$). Dessa forma, a Figura 9 expõe um gráfico da força elástica, F_{el} , pela deformação, x , com regressão linear e $R^2 \approx 99,2\%$.

Ainda se coloca a relação entre essa adequação (22,6%) a Lei e a extensão do elástico no experimento. Esta é menor que um terço da elongação.

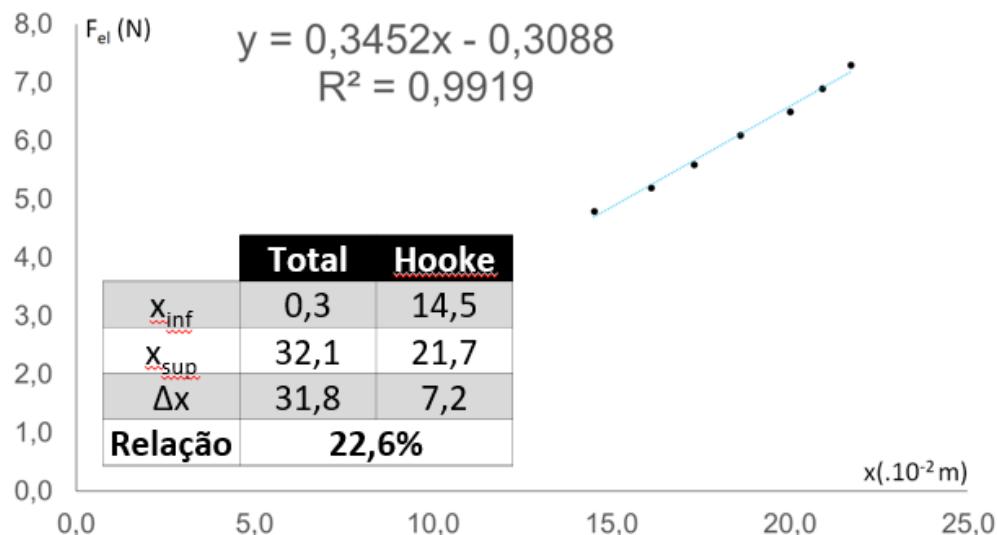


Figura 9 – Gráfico (F_{el} por x) e relação para adequação com a Lei de Hooke.

O teste de normalidade não pode ser aplicado aqui devido à quantidade de pontos (sete). Essa quantidade está relacionada a coleta de dados e ao baixo percentual da relação do intervalo exposto no gráfico da *Figura 9*.

4 | CONCLUSÕES

Os dados inferem uma relação não-linear, o que difere da Lei de Hooke. Ela aplica-se, somente, em 22,6% da extensão do elástico para R²=99,2%. Também, registra-se uma resistência maior no início da deformação. Dessa forma, podemos afirmar que a Lei de Hooke não se aplica ao estudo do material realizado e sua aplicação deve ser ponderada para corpos distintos de molas.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, E. M. **Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa procedures of statistics**. 2. ed. Assunción: A4 Diseños, 2008.
- BAYER, A.; ECHEVESTE, S. **Estatística na escola: importância dos conteúdos de estatística no ensino fundamental e médio**. *Ensino de Ciências e Matemática*, vol. 5, nº 1, pp. 35-42, 2003.
- BARBOSA, A. C. C; CARVALHAES, C. G.; COSTA, M. V. T. **A computação numérica como ferramenta para o professor de Física do Ensino Médio**. *Revista Brasileira de Ensino em Física*, vol. 28, nº 2, pp. 249-254, 2006.
- CHEVALLARD, Y. **La transposición didáctica: Del Saber Sabio Al Saber**. Enseñado, Buenos Aires: Aique Grupo Editor, 2005.
- GASPAR, A. **Compreendendo a física**. 3ed. São Paulo: Ática, 2016.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**. vol. 1, Rio de Janeiro: LTC,

2009.

LAPPONI, J. C. **Estatística Usando Excel**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Universo da Física - Mecânica**, 2 ed., São Paulo: Atual Editora, 2005.

WAGNER, R. R. **A relação dos professores de matemática com o processo de transposição didática: apoios na interdisciplinaridade, na contextualização e na complexidade do saber**. Ponta Grossa: UEPG, 2006.

PICTOGRAMA: ELABORAÇÃO EM LINGUAGEM R

Willian Alves Lion

Escola Estadual Judith Vianna, bolsista BIC-Jr/
FAPEMIG,
Alfenas – MG.

Beatriz de Oliveira Rodrigues

Universidade Federal de Alfenas, discente do
Departamento de Ciência da Computação,
Alfenas – MG.

Felipe de Melo Taveira

Universidade Federal de Alfenas, discente do
Departamento de Ciência da Computação,
Alfenas – MG.

Flávio Bittencourt

Universidade Federal de Alfenas, professor do
Departamento de Estatística,
Alfenas – MG.

Adriana Dias

Universidade Federal de Alfenas, professora do
Departamento de Estatística,
Alfenas – MG.

opções gráficas, e, entre elas, o pictograma, que permite a utilização de símbolos que representam o fenômeno em estudo. A vantagem em utilizar este tipo de gráfico é a maneira lúdica que se tem de representar os dados. Podem-se usar símbolos como escudos de times de futebol, figuras de camisas do time preferido, imagens de pessoas e de objetos. Construir manualmente um gráfico pictórico (ou pictograma) é até relativamente fácil levando em consideração que se podem usar recortes, adesivos, etc. Porém, fazer por meio de algum programa de computador não é tão simples, pois requer algumas habilidades em programação ou o conhecimento de algum programa. Este trabalho teve por objetivo elaborar uma rotina em linguagem R que permita ao usuário elaborar o seu próprio pictograma. Na rotina computacional produzida pode-se inserir a(s) imagem(ns) que se deseja ao gráfico, bem como dimensioná-la(s) conforme a escala que se deseja representar.

PALAVRAS-CHAVE: imagens, gráficos, variáveis.

PICTOGRAM: FORMULATION IN R COMPUTING LANGUAGE

ABSTRACT: The data obtained in a research may be introduced to readers in a number of ways: different statistics, various tabulations

RESUMO: Os dados obtidos em um estudo podem ser apresentados aos leitores por diversas formas: diferentes estatísticas, variadas tabulações e uma infinidade de gráficos. A escolha pela apresentação gráfica é, muitas vezes, a melhor opção em decorrência da capacidade que o ser humano tem em reconhecer padrões visuais. Há uma gama de

and a plethora of graphs. Choosing graphic presentation is often the best option due to our ability as human beings to recognize visual patterns. There are a range of graphical options, and among them, the pictogram, which allows the use of symbols that represent the phenomenon under study. The advantage of using this type of graph is the gamesome way of representing the data. One's can use symbols such as soccer team shields, team shirt pictures, images of people and objects. Manually constructing a pictorial graphic (or pictogram) is even relatively easy considering that clippings, stickers, etc. could also be used. However, doing it through some computer program is not as simple as it requires some programming skills or any other software expertise. This paper aimed to elaborate an R language routine that allows the user to elaborate a pictogram of his/her own. Within the resulting computational routine, one can insert the desired image(s) in the graph, as well as size it according to the scale one wishes to represent.

KEYWORDS: images, graphs, variables.

1 | INTRODUÇÃO

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN's) (BRASIL, 1998) descrevem que a partir do ensino fundamental o aluno deverá ser capaz de “utilizar diferentes linguagens” como a matemática e a gráfica com o objetivo de produzir, expressar e comunicar suas ideias. Além disso, deve “saber utilizar diferentes fontes de informação e recursos tecnológicos para adquirir e construir conhecimentos”.

O Documento Básico do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), dentre outras competências, reporta que o aluno deve ser capaz de: “Selecionar, organizar, relacionar, interpretar dados e informações representados de diferentes formas, para tomar decisões e enfrentar situações-problema” (BRASIL. MEC ENEM-Documento Básico, 2000).

De acordo com Cazorla (2002) a formação estatística é cada vez mais importante na vida do cidadão, uma vez que informações influenciam na sua tomada de decisão. Embora se reconheça a importância dos gráficos, há também, de se reconhecer que existem dificuldades em ler as informações apresentadas. A ausência de conhecimento estatístico faz com que o cidadão tire conclusões equivocadas do fenômeno representado.

Mesmo assim as informações estão em toda parte apresentadas de diversas formas gráficas, por exemplo. Há de se reconhecer que a utilização de imagens nos gráficos os tornam mais atrativos e, talvez, mais fáceis de serem compreendidos. O gráfico que utiliza de imagens para representar algum fenômeno é denominado de pictograma. Para Morais (2010) este gráfico é confeccionado com a finalidade de representar objetos ou pessoas por meio de símbolos adequados no eixo horizontal ou vertical. Destaca que existem prós e contras o uso deste tipo de recurso, por outro lado, percebe-se que poucos o identificam como um gráfico estatístico, cerca de 17,6% dos alunos entrevistados, dos quais 2% do total utilizaram um pictograma para representar

o fenômeno estudado por eles, relatando, ainda, que não houve dificuldade por parte desses alunos em construir um pictograma.

Atualmente, os alunos têm a oportunidade de vivenciar a era tecnológica em todo lugar:

A Informática abre possibilidades de mudanças na construção do conhecimento e a relação dessa com o sujeito que aprende superando os problemas da prática do ensino tradicional. Aulas expositivas tradicionais, onde o professor apresenta o conteúdo, resolve alguns exercícios, passa uma interminável lista de atividades e depois desse período prepara um teste para avaliar a aprendizagem, não mais atrai os alunos. Dessa forma, a escola não tem como escapar do uso das tecnologias (CALIL, 2011, p. 22).

É necessário que educadores matemáticos e estatísticos utilizem a informática a favor do aprendizado, pois se sabe que a era da informática já se iniciou faz tempo e que há muitos programas computacionais de livre acesso ao público, como, por exemplo, o programa R (R CORE TEAM, 2017). O programa R é uma linguagem de programação de domínio público, compatível com os sistemas operacionais *Windows*, *Mac* e *Linux*, podendo ser facilmente instalado sem exigir muito conhecimento na área computacional em quaisquer desses sistemas operacionais. Além disso, há um número significativo de pessoas desenvolvendo “pacotes”, a fim de melhorar a vida dos usuários que necessitam realizar análises estatísticas e programação por meio deste programa (R CORE TEAM, 2017).

Embora no programa R (R CORE TEAM, 2017) seja possível confeccionar gráficos das mais variadas formas e tipos, não se encontrou alguma rotina que permitisse construir pictogramas. Desta forma, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma rotina em linguagem R que permita confeccionar pictogramas de diferentes variáveis contribuindo para o ensino e a representação de dados.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se o programa R (R CORE TEAM, 2017) e os pacotes *magick* (OOMS, 2017), *EBImage* (PAU et al., 2010) e *png* (URBANEK, 2013) que permitem a edição, a importação e a leitura de imagens dentro do ambiente R para a elaboração da rotina computacional que constrói os gráficos pictóricos.

3 | DESENVOLVIMENTO

Desenvolveu-se um algoritmo que considera os seguintes passos:

- 1- Instalar e executar os pacotes: *magick*, *EBImage* e *png*.
- 2- Importar a(s) imagem(ns) que ser(á)ão usada(s) no pictograma.

- 3- Criar os eixos do gráfico conforme os dados que se quer representar.
- 4- Inserir as imagens no gráfico definindo o comprimento e a largura nos eixos a serem ocupados com cada imagem.
- 5- Editar as frações, quando necessário, da imagem a ser representada.

4 | CONFECÇÃO DE UM PICTOGRAMA

O pictograma apresentado na Figura 1 foi confeccionado a partir dos passos apresentados anteriormente. Os dados são referentes ao número de *e-books* disponíveis na biblioteca do R do ano de 2011 ao ano 2017 (disponível em: <https://www.r-project.org/doc/bib/R-books.html>). O logotipo do R (disponível em: <https://www.r-project.org/logo/>) foi adotado para representar o número de publicações de cada ano, considerando que uma imagem corresponda a dois *e-books*.

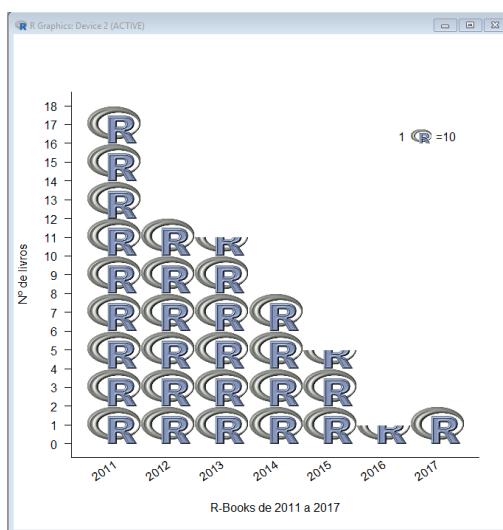


Figura 1 – Número de *e-books* disponíveis na biblioteca do R de 2011 a 2017

Os comandos do programa R adotados na construção do pictograma acima e seus significados serão apresentados a seguir com o objetivo de permitir que se reproduza o gráfico e que a partir dele possam-se confeccionar outros.

O primeiro passo é a instalação dos pacotes: *magick*, *EBImage* e *png*.

```
install.packages('magick')           #instalando o pacote magick
source("https://bioconductor.org/biocLite.R")
biocLite("EBImage")                 #instalando o pacote EBImage
install.packages('png')              #instalando o pacote png
```

Depois de instalar os pacotes é necessário executá-los. O pacote *EBImage* não está disponível no *CRAN* do R podendo ser obtido pelo caminho indicado acima. Uma vez instalados estes pacotes não é preciso instalá-los novamente, porém toda vez que se for fazer um pictograma ao iniciar um novo projeto no programa R, é necessário executá-los por meio dos comandos abaixo:

```
library(magick)                    #executando o pacote magick
```

```
library(EBImage)           #executando o pacote EBImage
library(png)               #executando o pacote magick
```

O próximo passo é indicar ao R onde está(ão) a(s) imagem(ns) a ser(em) apresentada(s) no pictograma. Aqui está sendo representado que o local da imagem de nome “R” está no diretório G em uma pasta de nome “pictograma” e a sua extensão é “.png”:

```
R <- readPNG("G:/pictograma/R.png");      #local onde está a imagem
display(R, method = "raster")  #apresentação da imagem no programa R
```

Recomenda-se que a imagem esteja na extensão “.png” e para que a figura mantenha a sua característica é ideal usar o método “raster”. A imagem que o programa R apresentará pelo comando display terá a aparência da Figura 2.

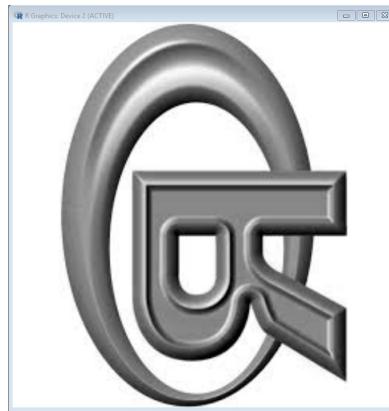


Figura 2 – Imagem reconhecida pelo programa R

A princípio, a imagem aparecerá distorcida, porém durante a execução da rotina ela ficará posicionada de maneira adequada.

Os eixos cartesianos devem ser criados para a inserção das imagens:

```
plot(c(0,4), c(0,4), type = "n", xlim=c(0,14), ylim=c(0,18), xaxt="n",
      xlab= "R-Books de 2011 a 2017", cex=2, main="",
      yaxp=c(0,18,18),
      ylab = "Nº de livros", bty="l", las=1)
```

Na execução do comando `plot...` o programa R retornará um gráfico em branco (`c(0,4), c(0,4), type = "n",`), com um eixo-x com início em 0 e término em 14 e um eixo-y de 0 a 18, em que o eixo-x não terá, por enquanto identificação numérica. (`xlim=c(0,14), ylim=c(0,18), xaxt="n",`). O gráfico não apresentará título (`main=""`), o eixo-x receberá o nome (`xlab= "R-Books de 2011 a 2017",`) com tamanho (`cex=2,`) e o eixo-y receberá o título por meio de (`ylab = "Nº de livros",`) enquanto que (`bty="l", las=1`) retira o contorno retangular do gráfico e orienta os números do eixo-y, respectivamente. O comando (`yaxp=c(0,18,18),`) exige que o eixo-y inicie em 0 e termine em 18 e que esse intervalo tenha 18 partes (neste caso varie de 1 em 1 unidade). A Figura 3 apresenta o resultado obtido após a execução dos comandos anteriores e destes comandos:

```
labels <-c("2011","2012","2013","2014","2015","2016","2017")
text(c(1,3,5,7,9,11,13), par("usr")[3] - 0.3, srt = 35, adj = 1, labels = labels, xpd = TRUE, cex=1)
```

Na primeira linha os anos são inseridos como valores do eixo-x e nas segundas e terceiras linhas são definidas as formatações dos anos, como: onde ficará cada ano, orientação (inclinação) e tamanho dos mesmos.

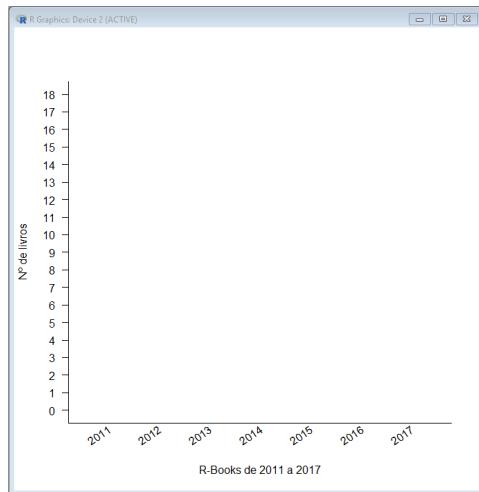


Figura 3 – Gráfico em branco apresentando as informações declaradas

As próximas etapas compreenderão a inserção das imagens conforme a quantidade de *e-books* disponíveis na biblioteca do R conforme o ano: 2011 (18 *e-books*), 2012 (12), 2013 (11), 2014 (8), 2015 (5), 2016 (1) e 2017 (2). Assim, para o ano de 2011 serão necessárias 9 imagens sendo inseridas da seguinte forma:

```
rasterImage(R, 0, 0, 2, 2)
rasterImage(R, 0, 2, 2, 4)
rasterImage(R, 0, 4, 2, 6)
rasterImage(R, 0, 6, 2, 8)
rasterImage(R, 0, 8, 2, 10)
rasterImage(R, 0, 10, 2, 12)
rasterImage(R, 0, 12, 2, 14)
rasterImage(R, 0, 14, 2, 16)
rasterImage(R, 0, 16, 2, 18)
```

Informou-se ao programa R que a primeira imagem será inserida no eixo-x de 0 a 2 e no eixo-y de 0 a 2, também. A segunda imagem ficará no eixo-x em 0 e 2 e no eixo-y de 2 a 4 e assim sucessivamente deslocando-se a imagem verticalmente (eixo-y) de duas em duas unidades. As nove imagens representam os 18 *e-books* publicados neste ano. É importante relatar que o comando `rasterImage(R, x1, y1, x2, y2)` apresenta a seguinte informação: `x1` representa a primeira coordenada do eixo-x e `x2` a segunda, o mesmo para `y1` e `y2` no eixo-y. Para o ano 2012 segue-se o mesmo padrão, sendo que a imagem se situa no eixo-x de 2 a 4.

```
rasterImage(R, 2, 0, 4, 2)
rasterImage(R, 2, 2, 4, 4)
rasterImage(R, 2, 4, 4, 6)
rasterImage(R, 2, 6, 4, 8)
```

```
rasterImage(R, 2, 8, 4, 10)  
rasterImage(R, 2, 10, 4, 12)
```

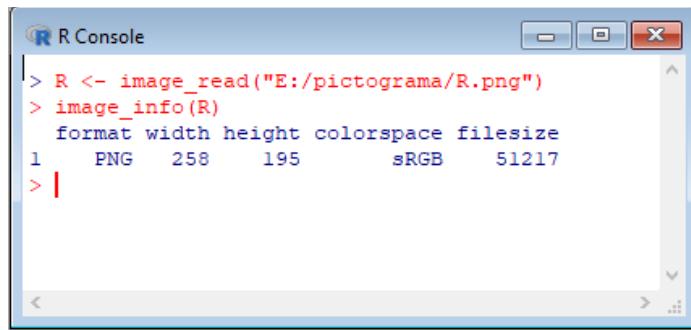
No ano de 2013 há um número ímpar de publicações, 11. Entretanto, cada imagem representa dois *e-books*. Como são 11 *e-books* inclui-se, inicialmente, as imagens completas, 5 no total:

```
rasterImage(R, 4, 0, 6, 2)  
rasterImage(R, 4, 2, 6, 4)  
rasterImage(R, 4, 4, 6, 6)  
rasterImage(R, 4, 6, 6, 8)  
rasterImage(R, 4, 8, 6, 10)
```

A última figura para representar o décimo primeiro *e-book* não poderá ser completa, será a metade de uma imagem. Torna-se necessário executar alguns comandos para identificar características da imagem:

```
R <- image_read("G:/pictograma/R.png")  
image_info(R)
```

Com esta linha de comando é solicitado que o programa R busque a imagem no local onde ela está em seu computador (primeiro comando), em seguida pede-se informações sobre esta imagem. O resultado deste comando é apresentado na janela *R Console* do programa R:

A screenshot of the R Console window. The window title is "R Console". Inside, there is a command line interface with the following text:

```
|> R <- image_read("E:/pictograma/R.png")  
> image_info(R)  
  format width height colorspace filesize  
  1  PNG    258     195      sRGB    51217  
> |
```

The text is color-coded: "R", "image_read", "image_info", "format", "width", "height", "colorspace", and "filesize" are in red; "E:/pictograma/R.png" and "1" are in blue; and "PNG", "258", "195", "sRGB", and "51217" are in black.

Figura 4 – Características da imagem

Da informação acima, o que se precisa saber é a largura (258) e a altura (195) da imagem. Sabendo-se que se tem que tirar 50% da altura, pois a imagem completa representa 2 *e-books*, isto é, um *e-book* corresponderá a 50% da imagem, o procedimento a ser adotado no programa R é:

```
R1 <- image_read("G:/pictograma/R.png") #lendo e renomeando a imagem R  
R1 <- image_crop(R1, "258x195+0+97.5") #imagem editada  
rasterImage(R1, 4, 10, 6, 11)
```

Em que a primeira linha capture a imagem no local onde ela está, a segunda faz o recorte da imagem de modo que 258x195 é a dimensão original da figura e (+0+97.5) indica o quanto será retirado da imagem verticalmente (+0) e horizontalmente (+97.5). O valor 97,5 foi obtido por meio da multiplicação de 195 por 0,5 (50%) para quantificar o local onde a imagem deverá ser seccionada. A terceira linha indica o local onde ela

deverá ficar exposta no gráfico. Analogamente pode-se adotar o mesmo procedimento para inserir as imagens para representar as quantidades de *e-books* para os demais anos, assim:

Para 2014:

```
rasterImage(R, 6, 0, 8, 2)  
rasterImage(R, 6, 2, 8, 4)  
rasterImage(R, 6, 4, 8, 6)  
rasterImage(R, 6, 6, 8, 8)
```

Para 2015:

```
rasterImage(R, 8, 0, 10, 2)  
rasterImage(R, 8, 2, 10, 4)  
R2 <- image_read("G:/pictograma/R.png")  
R2 <- image_crop(R2, "258x195+0+97.5")  
rasterImage(R2, 8, 4, 10, 5)
```

Para 2016:

```
R3 <- image_read("G:/pictograma/R.png")  
R3 <- image_crop(R3, "258x195+0+97.5")  
rasterImage(R3, 10, 0, 12, 1)
```

Para 2017:

```
rasterImage(R, 12, 0, 14, 2)
```

Realizando os procedimentos descritos acima o programa R gerará uma imagem correspondendo à representada na Figura 5.

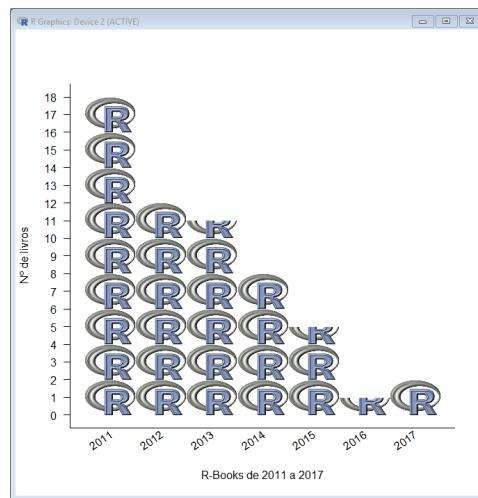


Figura 5 – Pictograma resultante segundo o número de *e-books* disponíveis na biblioteca do R

A inserção da legenda no gráfico é importante para que o leitor identifique as quantidades representadas, uma das formas de se realizar esse procedimento pode ser:

```
R4 <- image_read("G:/pictograma/R.png")  
image_info(R4)
```

```
rasterImage(R4, 11.5, 16.5, 12.5, 17.5)
```

```
text(11.2, 17, "1", font = 1,cex=1)
```

```
text(13.5, 17, " = 2", font = 1,cex=1)
```

Com a inserção da legenda, finaliza-se de modo que o pictograma finalizado pode ser visualizado na Figura 6.

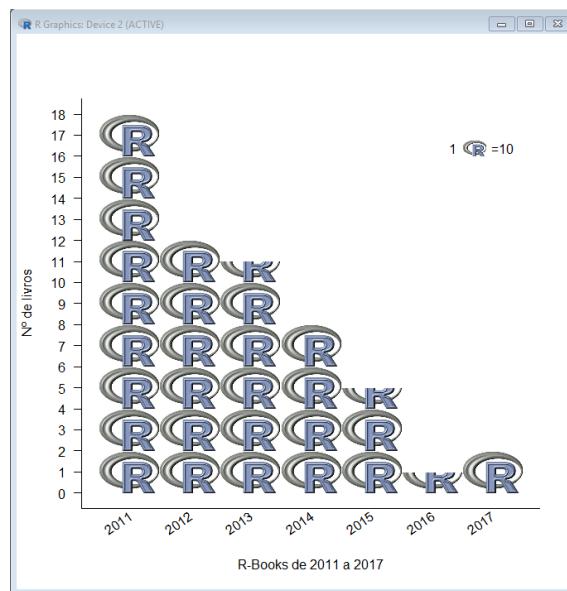


Figura 6 – Pictograma finalizado

5 | UM EXEMPLO DE PICTOGRAMA COM BANDEIRA DE PAÍSES

O número de habitantes dos oito países mais populosos do mundo em 2018, segundo o site da Revista Época, será utilizado para construir dois pictogramas. Os números de habitantes desses oito países estão dispostos na Tabela 1.

Países	População (habitantes)
China	1.384.688.986
Índia	1.296.834.042
Estados Unidos	329.256.465
Indonésia	262.787.403
Brasil	208.846.892
Paquistão:	207.862.518
Nigéria	195.300.340
Bangladesh	159.453.001

Tabela 1 – Oito países mais populosos do mundo em 2018. Fonte: <https://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2017/12/estes-serao-os-paises-mais-populosos-de-2018.html>

As figuras a seguir representam dois pictogramas construídos considerando-se

as bandeiras de cada país com o objetivo de representar a sua população. Na Figura 7a o pictograma foi confeccionado de modo que cada bandeira represente 200 milhões de habitantes e na Figura 7b um pictograma em que cada bandeira foi utilizada para representar 100 milhões de habitantes.

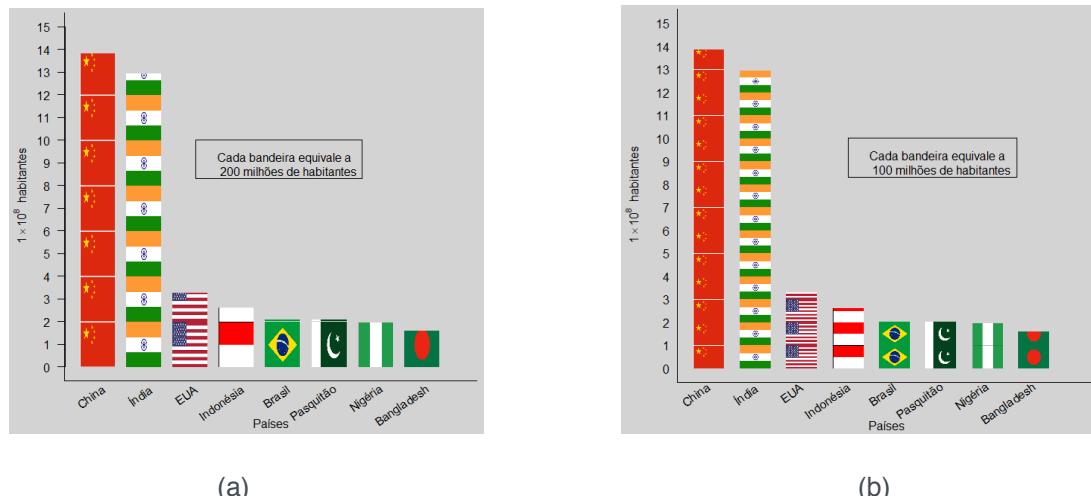


Figura 7 – Pictogramas dos oito países mais populosos do mundo em 2018. Fonte: <https://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2017/12/estes-serao-os-paises-mais-populosos-de-2018.html>

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante destacar a versatilidade do programa R (R CORE TEAM, 2017) e que a gama de opções em ferramentas o torna muito útil para variados trabalhos. No caso da rotina apresentada neste trabalho, nota-se que a construção de pictogramas, embora ainda tenha que informar ao programa R muita coisa manualmente por causa da característica gráfica que se deseja apresentar, é relativamente simples, ao mesmo tempo de uma qualidade impressionante e com infinitas possibilidades.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Exame Nacional do Ensino Médio - ENEM: documento básico 2000. Brasília, DF: INEP, 1999. 28 p.
- BRASIL. Secretaria de Educação Fundamental. Parâmetros curriculares nacionais: Matemática. Brasília, DF: MEC/SEF, 1998. 148 p.
- CALIL, A. M. **Caracterização da utilização das TICs pelos professores de matemática e diretrizes para ampliação do uso.** 137 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação Matemática) – Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG, 2011.
- CAZORLA, I. M. **A relação entre a habilidade viso-pictórica e o domínio de conceitos estatísticos na leitura de gráficos.** 315p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação da Universidade Estadual de Campinas, 2002
- MORAIS, P. C. C. C. **Construção, leitura e interpretação de gráficos estatísticos por alunos do 9º ano de escolaridade.** 181p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Educação) – Instituto de Educação da Universidade do Minho, 2010.

OOMS, J. **Magick: Advanced Graphics and Image-Processing in R**. 2017. R package version 1.3. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=magick>.

PAU, G., FUCHS, F., SKLYAR, O., BOUTROS, M., HUBER, W. EBImage: an R package for image processing with applications to cellular phenotypes. **Bioinformatics**, 26(7), p.979-981, 2010.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2017. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

URBANEK, S. **png: Read and write PNG images**. 2013. R package version 0.1-7. Disponível em: <http://CRAN.R-project.org/package=png>.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Júlio César Ribeiro - Engenheiro-Agrônomo formado pela Universidade de Taubaté - SP (UNITAU); Técnico Agrícola pela Fundação Roge - MG; Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF); Doutor em Agronomia - Ciência do Solo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Pós-Doutorado no Laboratório de Estudos das Relações Solo-Planta do Departamento de Solos da UFRRJ. Possui experiência na área de Agronomia (Ciência do Solo), com ênfase em ciclagem de nutrientes, nutrição mineral de plantas, fertilidade, química e poluição do solo, manejo e conservação do solo, e tecnologia ambiental voltada para o aproveitamento de resíduos da indústria de energia na agricultura. E-mail para contato: jcragronomo@gmail.com

Carlos Antônio dos Santos - Engenheiro-Agrônomo formado pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica - RJ; Especialista em Educação Profissional e Tecnológica pela Faculdade de Educação São Luís, Jaboticabal-SP; Mestre em Fitotecnia pela UFRRJ. Atualmente é Doutorando em Fitotecnia na mesma instituição e desenvolve trabalhos com ênfase nos seguintes temas: Produção Vegetal, Horticultura, Manejo de Doenças de Hortaliças. E-mail para contato: carlosantoniokds@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

- Açúcares 25, 26, 28, 34, 81, 82, 83, 84, 85, 87
Agricultura de precisão 7, 167
Água resíduária 10, 11, 20
AHP 145, 146, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157
Algaroba 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88
Amostragem em suspensão 24, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 33
Análise 1, 2, 3, 6, 10, 16, 17, 19, 22, 23, 24, 27, 32, 33, 37, 38, 39, 42, 47, 48, 49, 50, 51, 57, 58, 60, 61, 65, 66, 67, 70, 82, 95, 96, 99, 101, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 116, 117, 119, 127, 138, 140, 144, 157, 163, 165, 170, 171, 172, 179, 180, 183, 184, 190, 194, 196, 197, 198, 199, 206, 207, 211, 219, 221, 226, 227, 231, 242, 246
Análise envoltória de dados 58, 60, 67
Análise funcional 226, 227, 242
Artocarpus altilis 89, 90, 91, 92, 94, 96, 97, 99, 100
Atividade antiparasitária 102
Avanços 78, 123, 202, 213

B

- Bitcoin 222, 223, 224, 225

C

- Canteiros de obras 145, 146, 155, 156
Celulose 58, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 72, 75, 76, 77, 78, 79, 126
Chuva 36, 37, 38, 39, 41, 42, 45, 47, 76
Ciclo educacional 179, 183
Ciclo vegetativo 7, 49, 53, 55, 56
Códigos linguísticos 189
Commodities 58, 59
Construção civil vertical 145
Curso agrotécnico 189

E

- Educação 9, 68, 69, 79, 89, 158, 179, 180, 182, 183, 184, 185, 186, 189, 190, 191, 192, 193, 197, 201, 202, 203, 209, 210, 211, 212, 213, 221, 245, 263, 265
Ensino 67, 92, 179, 180, 182, 183, 185, 186, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 243, 245, 252, 255, 256, 263
Ensino de ciências 189, 200, 201, 209, 211, 212, 214, 215, 217, 218, 219, 220, 221, 252
Espaço não formal 199, 201, 209, 210

Espaços métricos 226, 227, 228, 231, 232, 236, 242

Evapotranspiração 16, 37, 49, 51, 52, 53, 55, 56, 169

F

FAAS 24, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 33, 35

Fitoquímica 90, 99, 100

Fósforo 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14

G

Geoestatística 167, 171

Gerenciamento de RCC 145, 146, 147, 148, 151, 154, 155

Gráficos 117, 119, 254, 255, 256, 263

H

Hymenaea courbaril 101, 102, 104, 105, 112, 113

I

Imagens 135, 136, 137, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 176, 177, 217, 242, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261

Índices de vegetação 167, 168, 169, 170, 171, 173, 174, 175, 176

Indústria de papel 68, 70, 75

Indústria têxtil 68, 70, 75, 79

Investimento 179, 180, 183, 184, 185, 222

L

Leap-Frog 158, 159, 160

Lei de Hooke 243, 245, 246, 247, 248, 251, 252

Letramento científico 199, 203, 209, 210

M

Medição 115, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 160, 161

Melado de cana 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 84

Metais 3, 9, 12, 22, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 32, 126, 176

Meteorologia 36, 37, 39, 53

Micro-ondas 26, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129

Moda sustentável 68, 79

Modelos hiperbólicos 222, 223, 225

Moraceae 89, 90, 91, 100

N

Não-linearidade 243, 251

Nivelamento 74, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165

Nutrição de plantas 1

O

Oportunidade 179, 180, 182, 185, 186, 191, 256

P

Papel 2, 58, 59, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 73, 75, 76, 77, 78, 79, 128, 192, 206, 213, 216, 227, 231, 246, 249

Parâmetros 24, 27, 28, 30, 33, 48, 49, 50, 52, 54, 55, 56, 115, 116, 119, 137, 160, 163, 168, 174, 175, 177, 191, 222, 223, 224, 255, 263

Perímetro irrigado 1, 3, 8

Petróleo 1, 9, 10, 11, 13, 22, 23

Prosopis 81, 82, 87, 88

Q

Química verde 33, 123, 128

R

Recuperação 11, 132, 133, 134, 137, 138, 139, 140, 143, 144

Regressão polinomial 243, 246, 251

Renda 49, 81, 179, 180, 181, 182, 184, 185, 186

Resíduos sólidos 68, 71, 76, 77, 80, 146, 147, 148, 155, 156

Restauração 132, 133, 134, 137, 138, 139, 143, 244, 245

Reuso 10, 22, 71, 72, 80, 132, 133, 137, 138, 140, 141, 142, 143

S

Saneantes 115, 117, 118, 121

Sequências de Cauchy 226

Simbiose industrial 68, 70, 71, 77, 78

Síntese 90, 104, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 220

T

Topografia 138, 139, 143, 158, 159, 165

Trading 222, 223

Trypanosoma cruzi 101, 102, 103, 111, 112

V

Validação de métodos 24, 34

Variáveis 22, 38, 60, 61, 64, 65, 66, 67, 117, 175, 178, 179, 181, 182, 183, 185, 186, 194, 204, 211, 222, 224, 254, 256

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-680-5



9 788572 476805