



Fernanda Pereira Martins  
(Organizadora)

# Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 3

  
Atena  
Editora  
Ano 2021



Fernanda Pereira Martins  
(Organizadora)

# **Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 3**

**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

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

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

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

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

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

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

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

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

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

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

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

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

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

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

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

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

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

### **Linguística, Letras e Artes**

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

### **Conselho Técnico Científico**

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

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

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

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremona  
**Correção:** Mariane Aparecida Freitas  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora:** Fernanda Pereira Martins

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

G342 Geociências: estabelecimento e evolução da civilização humana 3 / Organizadora Fernanda Pereira Martins. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-896-0

DOI 10.22533/at.ed.960211703

1. Geociências. I. Martins, Fernanda Pereira (Organizadora). II. Título.

CDD 550

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

## APRESENTAÇÃO

A coleção “Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 3” constitui-se em palco para discussão dos diversos saberes associados às geociências, sendo composto por pesquisas, relatos de casos e/ou revisões bibliográficas.

A abertura do livro é apresentada com o **capítulo 1** - “Assinaturas magnéticas de processos biogeoquímicos em uma área contaminada por hidrocarbonetos” - em que os autores buscaram identificar os processos biogeoquímicos ocorridos em áreas contaminadas por hidrocarbonetos, associando-os às assinaturas magnéticas capazes de fornecer informações sobre a mineralogia, e, também da análise de curvas de histerese para informações sobre os grãos de minerais magnéticos.

No **capítulo 2** - “Avaliação da genotoxicidade através de alterações morfonucleares em eritrócitos da ictiofauna do médio Rio São Francisco em Minas Gerais (Brasil)” – os pesquisadores averiguaram a genotoxicidade através da frequência de micronúcleos e ocorrência de outras alterações morfonucleares em eritrócitos de peixes do rio São Francisco (Januária/MG) com vistas a diagnosticar a qualidade do recurso hídrico e do pescado.

No **capítulo 3** - “A remota cidade de Atlântida” – o autor teve por objetivo analisar materiais referentes à cidade histórica de Atlântida, mencionada em diversas obras, como *Timeu e Critias ou A Atlântida*, de Platão e orientar uma possível localização dos destroços da cidade, baseada nessa análise.

No **capítulo 4** - “Curva de Keeling - a medida da concentração de dióxido de carbono – CO<sub>2</sub> – na atmosfera: um ensaio de modelagem via Método Univariado SARIMA” – a pesquisa refere-se à construção de um modelo univariado SARIMA ajustado à variabilidade da medida da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, com a finalidade de realizar a previsão desta variável a partir de seu comportamento temporal/histórico e componente sazonal.

No **capítulo 5** - “Dinâmica sedimentar do rio Paraguai na Ilha Laranjeira, Pantanal Sul-Matogrossense” – apresentou-se um balanço hidrossedimentar a fim de compreender os processos erosivos e deposicionais que ocorrem no canal analisado no contexto de um rio *anabranching*.

No **capítulo 6** - “Investigação geoquímica de feições e estruturas arqueológicas em Terra Preta de Índio do Sítio Bitoca (Província Mineral de Carajás, Pará)” – os autores descreveram os aspectos químicos e mineralógicos de solos tipo Terra Preta Arqueológica ou Terra Preta de Índio provenientes dos sítios Bitoca I e II, localizados na Região do Salobo (Província Mineral de Carajás, Pará).

No **capítulo 7** - “Metodologia pré-operacional para elaboração de baselines ambientais frente as potenciais reservas de gás não convencional na Bacia do São Francisco

– Minas Gerais/Brasil” - o levantamento de baseline é destacado como fundamental para caracterização do ambiente de investigação, permitindo a avaliação dos impactos ambientais prévios e posteriores a extração do *shale gas*,

Para o encerramento da presente obra, o **capítulo 8** apresenta uma importante contribuição intitulada “Recifes da Amazônia: percepção da população de Macapá e do Oiapoque - Amapá, Brasil” – em que os autores analisaram e compararam a percepção de três grupos sobre os recifes amazônicos.

A coleção de artigos dessa obra abrange diferentes segmentos dentro das geociências e demonstra a sua diversidade temática e metodológica. Assim, essa coletânea se concretiza a partir do empenho de vários pesquisadores, os quais representam diversas instituições de ensino e pesquisa do Brasil e que aqui deixam sua contribuição para ampliar as discussões dentro das geociências.

Fernanda Pereira Martins

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ASSINATURAS MAGNÉTICAS DE PROCESSOS BIOGEOQUÍMICOS EM UMA ÁREA CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS**

Carolina Silveira de Moraes  
Andréa Teixeira Ustra  
Alexandre Muselli Barbosa  
Rosely Aparecida Liguori Imbernon

**DOI 10.22533/at.ed.9602117031**

### **CAPÍTULO 2..... 14**

#### **AVALIAÇÃO DA GENOTOXICIDADE ATRAVÉS DE ALTERAÇÕES MORFONUCLEARES EM ERITRÓCITOS DA ICTIOFAUNA DO MÉDIO RIO SÃO FRANCISCO EM MINAS GERAIS (BRASIL)**

Lucélia Sandra Silva Barbosa Braga  
Maria Rosilene Alves Damasceno  
José Ermelino Alves Damasceno

**DOI 10.22533/at.ed.9602117032**

### **CAPÍTULO 3..... 23**

#### **A REMOTA CIDADE DE ATLÂNTIDA**

Mateus Santana Corrêa

**DOI 10.22533/at.ed.9602117033**

### **CAPÍTULO 4..... 31**

#### **CURVA DE KEELING - A MEDIDA DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO – CO<sub>2</sub> – NA ATMOSFERA: UM ENSAIO DE MODELAGEM VIA MÉTODO UNIVARIADO SARIMA**

Alexandre Boleira Lopo

**DOI 10.22533/at.ed.9602117034**

### **CAPÍTULO 5..... 47**

#### **DINÂMICA SEDIMENTAR DO RIO PARAGUAI NA ILHA LARANJEIRA, PANTANAL SUL-MATOGROSSENSE**

Hudson de Azevedo Macedo  
José Cândido Stevaux  
Aguinaldo Silva

**DOI 10.22533/at.ed.9602117035**

### **CAPÍTULO 6..... 58**

#### **INVESTIGAÇÃO GEOQUÍMICA DE FEIÇÕES E ESTRUTURAS ARQUEOLÓGICAS EM TERRA PRETA DE ÍNDIO DO SÍTIO BITOCA (PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS, PARÁ)**

Majd Nidal Aboul Hosn  
Bruno Apolo Miranda Figueira  
Marcondes Lima da Costa

Dirse Clara Kern

**DOI 10.22533/at.ed.9602117036**

**CAPÍTULO 7..... 64**

**METODOLOGIA PRÉ-OPERACIONAL PARA ELABORAÇÃO DE BASELINES AMBIENTAIS FRENTE AS POTENCIAIS RESERVAS DE GÁS NÃO CONVENCIONAL NA BACIA DO SÃO FRANCISCO – MINAS GERAIS/BRASIL**

Jussara da Silva Diniz Lima

Vinicius Goncalves Ferreira

Joyce Castro de Menezes Duarte

Gustavo Filemon Costa Lima

Carlos Alberto de Carvalho Filho

**DOI 10.22533/at.ed.9602117037**

**CAPÍTULO 8..... 74**

**RECIFES DA AMAZÔNIA: PERCEPÇÃO DA POPULAÇÃO DE MACAPÁ E DO OIAPOQUE - AMAPÁ, BRASIL**

Janaina Freitas Calado

Fabrcio Leão Cardoso

**DOI 10.22533/at.ed.9602117038**

**SOBRE A ORGANIZADORA..... 87**

**ÍNDICE REMISSIVO..... 88**

## ASSINATURAS MAGNÉTICAS DE PROCESSOS BIOGEOQUÍMICOS EM UMA ÁREA CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS

*Data de aceite:* 01/03/2021

*Data de submissão:* 15/02/2021

### **Carolina Silveira de Moraes**

Universidade de São Paulo, Instituto de  
Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas  
São Paulo – São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0003-0253-0569>

### **Andréa Teixeira Ustra**

Universidade de São Paulo, Instituto de  
Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas  
São Paulo – São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0002-5230-1775>

### **Alexandre Muselli Barbosa**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
São Paulo – São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0002-1451-6118>

### **Rosely Aparecida Liguori Imbernon**

Universidade de São Paulo, Escola de Artes,  
Ciências e Humanidades  
São Paulo – São Paulo  
<http://lattes.cnpq.br/5609320945313608>

**RESUMO:** O crescimento da exploração e do uso de hidrocarbonetos como fonte de combustível e matéria prima levou ao aumento expressivo da contaminação do solo e das águas subterrâneas por essas substâncias. A contaminação ambiental pode ser estudada por meio da geofísica. A biogeofísica tem se destacado no estudo da atividade microbiana e suas alterações no meio, a partir da análise de parâmetros geofísicos

como as propriedades magnéticas do ambiente contaminado. Essa análise fornece importantes informações sobre a evolução biogeoquímica do meio. Neste trabalho, buscou-se identificar os processos biogeoquímicos ocorridos em áreas contaminadas por hidrocarbonetos e associá-los à assinaturas magnéticas, obtidas a partir da análise de curvas termomagnéticas, capazes de fornecer informações sobre a mineralogia, e da análise de curvas de histerese, capazes de fornecer informações sobre o tamanho dos grãos de minerais magnéticos. As amostras utilizadas foram coletadas em uma região com presença de óleo de creosoto em São Paulo, a partir de perfis de solo contaminados e não contaminados. Os resultados obtidos a partir das curvas termomagnéticas para amostras coletadas com contaminante indicam uma menor ocorrência de transformações de fase mineral, sugerindo que elas possuem menor teor de matéria orgânica que as demais amostras, assim como menores concentrações de magnetita. Os resultados de curvas de histerese indicam a ocorrência de partículas finas e a diminuição da granulometria com o aumento da profundidade. Os resultados obtidos sugerem transformações minerais suprimidas na região contaminada, em relação à região de background. Uma explicação para essa diferença pode estar associada a ação biocida do creosoto, responsável por diminuir a quantidade de bactérias redutoras de ferro do meio, e consequentemente diminuir a intensidade do metabolismo microbiano na região contaminada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Áreas Contaminadas, Geofísica, Magnetismo Ambiental, Biogeofísica, Solos.

## MAGNETIC SIGNATURES OF BIOGEOCHEMICAL PROCESSES AT A HYDROCARBON CONTAMINATED SITE

**ABSTRACT:** The growth of hydrocarbons exploration and use as a source of fuel and raw material has led to a significant increase in soil and groundwater contamination by these substances. Subsurface contamination can be studied with geophysical methods. Biogeophysics has been standing out in studies of microbial activity and its changes in the environment, using geophysical parameters such as magnetic properties of the contaminated environment. This analysis can provide important information about biogeochemical evolution of the environment. In this work, we sought to identify the biogeochemical processes that took place in hydrocarbons contaminated areas and to associate these processes with magnetic signatures, obtained from thermomagnetic curves, which provide information about mineralogy, and from hysteresis curves, which provide information about the grain size of magnetic minerals. We studied samples from a creosote oil contaminated site. The results obtained from the thermomagnetic curves indicate a lower occurrence of mineral phase transformations where the contaminant was present, suggesting that they have a lower content of organic matter than others, as well as lower concentrations of magnetite. The results of hysteresis curves indicate the occurrence of ultrafine particles at the site and the decrease of particle size with depth. The results suggest suppressed mineral transformations at the contaminated region, when compared with the background. One possible explanation for this observation might be related to the biocide nature of the creosote oil, which reduced the natural iron reducing bacteria abundance and consequently the microbial metabolism at the contaminated region.

**KEYWORDS:** Contaminated Sites, Geophysics, Environmental Magnetism, Biogeophysics, Soils.

### 1 | INTRODUÇÃO

A necessidade da utilização de novos combustíveis como fonte de energia motivada, principalmente, pela Revolução Industrial a partir dos séculos XVIII e XIX e, posteriormente, no início do século XX pela popularização dos automóveis, levou ao crescimento explosivo da descoberta e exploração de reservas de combustíveis fósseis, tais como carvão e petróleo, que ainda hoje são amplamente utilizados como combustíveis e matéria prima em diversos segmentos industriais.

O derramamento de hidrocarbonetos e seus derivados constitui uma das formas mais comuns de contaminação em todo o mundo. Os impactos causados ao meio ambiente por hidrocarbonetos e seus derivados promovem a poluição dos solos e da água em subsuperfície, podendo representar elevado risco toxicológico e de explosividade em sua fase volátil, colocando em risco à saúde e integridade da população em comunidades próximas à contaminação, o que impõe o acompanhamento e remediação desses locais.

Diversos sistemas de remediação podem ser utilizados para o tratamento de áreas contaminadas, como tratamentos físico-químicos, térmicos, de atenuação natural monitorada, entre outros. O método escolhido para remediação de cada área depende de

uma série de fatores, como as características do meio e a extensão e o tipo de contaminante, pois nem todas as áreas contaminadas apresentam grandes concentrações de poluentes e nem sempre é possível remover completamente a massa contaminante.

Sob condições biogeoquimicamente favoráveis à ocorrência de reações naturais, como a degradação do contaminante por microrganismos, a atenuação natural monitorada (redução da massa contaminante ao longo do tempo) mostra-se como uma boa alternativa para a recuperação.

Os métodos diretos utilizados para o monitoramento da contaminação, como poços de sondagem e coleta de água, fornecem dados conclusivos no que diz respeito à contaminação da subsuperfície e parâmetros analisados pelas agências reguladoras (CESTESB, 2016). Entretanto, apresentam a limitação de seus dados representarem o momento da amostragem. Outra limitação diz respeito aos locais amostrados, que podem ser limitados por questões como viabilidade de construção dos poços e custo dessa operação.

Os métodos indiretos, por sua vez, podem representar uma ferramenta mais detalhada para estudos de caracterização e monitoramento da contaminação em longo prazo.

A geofísica ambiental estuda áreas contaminadas baseada no contraste causado pelos contaminantes responsáveis por alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do meio, como resistividade elétrica, cargabilidade, susceptibilidade magnética, potencial redox, entre outras. Dentro da geofísica ambiental, a biogeofísica estuda o efeito da atividade microbiana nas propriedades geofísicas do meio, e tem sido responsável pelo grande avanço dos estudos de biodegradação de contaminantes através do uso dos métodos geofísicos, se mostrando uma importante ferramenta para o monitoramento de áreas contaminadas (Kessouri et al., 2019).

Partindo da hipótese da ocorrência da degradação do contaminante pela atividade microbiana, este trabalho apresenta os resultados obtidos no estudo de uma área contaminada por óleo creosoto. Análises da variação da susceptibilidade magnética em função da temperatura (curvas termomagnéticas) e da variação da magnetização induzida por diferentes campos magnéticos externos (histerese) visam aprimorar o conhecimento sobre os minerais magnéticos na região contaminada e contribuir com o entendimento dos processos biogeoquímicos relacionados à biodegradação.

## **2 | O COMPORTAMENTO DOS HIDROCARBONETOS NO MEIO GEOLÓGICO**

Muitos contaminantes orgânicos em estado líquido são mantidos como uma fase separada quando em contato com a água. Esses contaminantes são conhecidos como *Non Aqueous Phase Liquids* (fase líquida não aquosa - NAPL), e podem ser classificados de acordo com sua densidade relativa em *Light Non Aqueous Phase Liquids* (LNAPL) e

### *Dense Non Aqueous Phase Liquids (DNAPL).*

Quando em contato com o meio físico o contaminante pode se apresentar em cinco fases, sendo estas as fases livre, residual, vapor, adsorvida e dissolvida (Baedecker et al., 1993; Cozarelli et al., 2001). No solo, na zona não saturada, o NAPL pode ser observado nas fases residual, adsorvida, livre e vapor. A fase de vapor possui alta mobilidade, além de representar riscos toxicológicos e de explosividade. No caso dos LNAPL, a fase residual ocorre como uma porção imóvel durante a migração em fluxo descendente do contaminante através da zona não saturada até atingir o nível d'água, onde a porção fluida forma a fase livre (móvel). Os DNAPL por outro lado permanecem migrando verticalmente mesmo no meio saturado até encontrar uma camada impermeável, onde passam a fluir lateralmente em fase livre. A fase adsorvida é composta pelo NAPL aderido às partículas do solo durante a migração através da zona não saturada, representando uma fonte de contaminação imóvel e menos expressiva que das fases livre e residual. A fase dissolvida está presente na zona saturada e é formada a partir da porção dos NAPLs que se dissolve ao entrar em contato com a água subterrânea, provocando a mobilidade do contaminante (Huling & Weaver, 1991).

A distribuição do NAPL no meio é determinada por diversas propriedades do solo, como por exemplo mineralogia, porosidade, permeabilidade, heterogeneidade e características de adsorção do solo. Propriedades do contaminante, como solubilidade, densidade, viscosidade e pressão de vapor, também são fatores cruciais para o transporte do contaminante em subsuperfície.

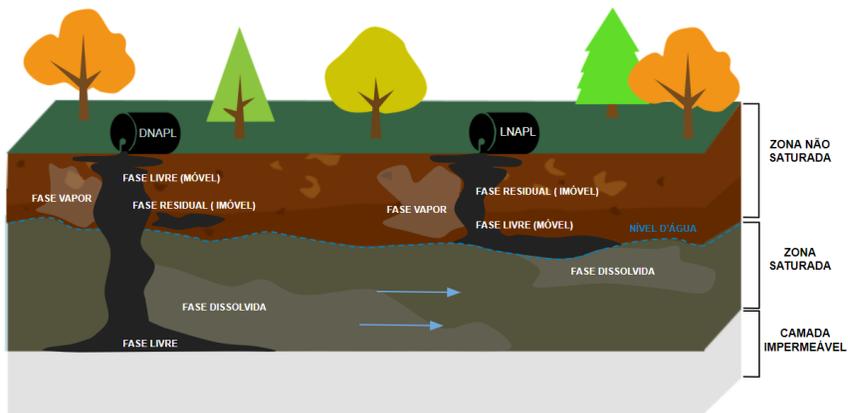


Figura 1: Modelo conceitual do comportamento dos NAPLs no meio físico. As setas azuis indicam o sentido do fluxo subterrâneo.

### 3 | BIOGEOFÍSICA E MAGNETISMO AMBIENTAL EM ESTUDOS AMBIENTAIS

Os microrganismos capazes de degradar hidrocarbonetos ocorrem naturalmente em solos e rochas. Com relação às mudanças das propriedades geofísicas produzidas pela biodegradação dos hidrocarbonetos em subsuperfície, três fatores fundamentais e processos relacionados devem ser considerados: propriedades físicas, químicas e biológicas.

O fluxograma da Figura 2 apresenta de forma sucinta que processos físicos, químicos ou biológicos afetam em último termo, as propriedades geofísicas. Por exemplo, o crescimento da população microbiana produz biofilmes, que possuem propriedades elétricas distintas do meio poroso e poderia ser identificado pelo uso de métodos geoeletricos da geofísica (Atekwana & Slater, 2009).

Os subprodutos do metabolismo microbiano geram gases biogênicos, ácidos orgânicos e surfactantes. Tais subprodutos têm o potencial de promover a alteração química de minerais, provocando a lixiviação de íons que são carregados e incorporados às soluções de intemperismo, modificando a porosidade e o próprio espaço poroso, além da salinidade do fluido dos poros. Atekwana & Slater (2009) descrevem em detalhe como as transformações do meio podem afetar as propriedades geofísicas. Dentre todos os processos, a obtenção de energia dos microrganismos a partir de processos redox se destaca pelas alterações físico-químicas do meio. A abundância de receptores de elétron governa a utilização dos nutrientes pelos microrganismos durante a quebra do carbono na biodegradação (Bekins et al., 2001; Cozzarelli et al., 2001). Conforme esses receptores de elétrons são consumidos, ocorrem mudanças no fluido dos poros.

De fato, bactérias ferro-redutoras são capazes de degradar hidrocarbonetos e precipitar magnetita (Lovley et al., 1987), aumentando a susceptibilidade magnética do solo. Estas bactérias são chamadas dissimilatórias, numa distinção das bactérias assimilatórias (que sintetizam cadeias de magnetita em seu próprio organismo). As bactérias dissimilatórias são capazes de reduzir oxi-hidróxido férrico amorfo ( $Fe^{+3}$ ) durante a oxidação metabólica da matéria orgânica do meio. Na respiração com ferro oxidado ( $Fe^{+3}$ ), ferro reduzido ( $Fe^{+2}$ ) é secretado, o qual subsequentemente reage com o excesso de oxi-hidróxido férrico, formando magnetita. Esses grãos minerais são geralmente pobremente cristalizados, possuem formato irregular e frequentemente apresentam uma distribuição de granulometria mais ampla que os minerais intracelulares produzidos pelas bactérias assimilatórias. Esse mecanismo é conhecido como mineralização biologicamente induzida (MBI) (Evans & Heller, 2003).

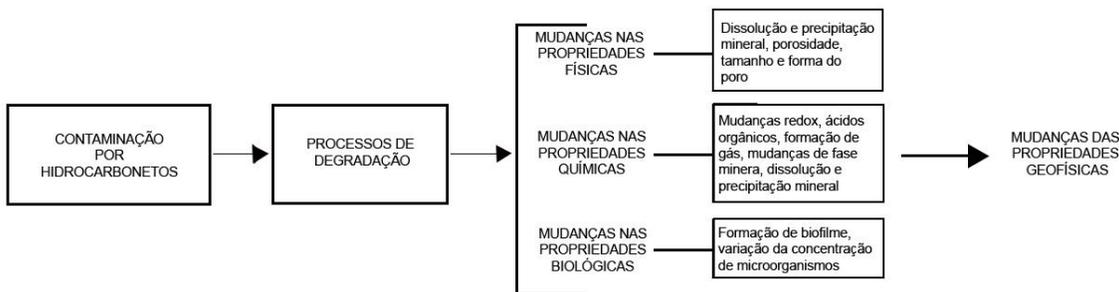


Figura 2: Fluxograma mostrando como mudanças químicas, físicas e biológicas induzidas pela degradação de hidrocarbonetos podem alterar as propriedades geofísicas (modificado de Atekwana & Slater, 2009)

Métodos geofísicos clássicos como eleorresistividade e polarização induzida, embora consagrados no estudo de áreas contaminadas, possuem aspectos sobre as propriedades que afetam sua resposta ainda não completamente compreendidos. Muitas das transformações causadas por microrganismos no meio são ambíguas. De acordo com Atekwana & Slater (2009), a atividade microbiana gera como subprodutos, principalmente, ácidos orgânicos e carbônicos, que, por sua vez, provocam o intemperismo dos grãos, aumentando a concentração de sólidos totais dissolvidos e consequentemente um aumento na condutividade elétrica do meio. Diversos trabalhos têm avaliado o uso da susceptibilidade magnética em investigações de áreas contaminadas. Atekwana et al. (2014) observaram o aumento da susceptibilidade magnética, na interface entre a zona não saturada e saturada em uma área contaminada por óleo bruto. Os autores avaliam que a susceptibilidade magnética pode fornecer importantes informações na identificação e monitoramento de áreas com ocorrência de redução de ferro devido a ação bacteriana.

Neste capítulo, apresentaremos um estudo conduzido em área localizada na zona oeste da cidade de São Paulo, que abrigou entre os anos de 1974 a 1997 uma usina de tratamento de madeiras. Os processos envolviam o corte, a preservação química, e armazenamento das madeiras tratadas. O processo de preservação química era realizado com diversos produtos químicos, dentre os quais o derivado de hidrocarboneto óleo de creosoto, biocida confirmado como fonte de contaminação devido ao derramamento do produto no local (Freitas et al., 2015). A área apresenta contaminação por hidrocarbonetos localizada, principalmente, na antiga área de operação, onde localizavam-se duas autoclaves e os tanques de armazenamento de produtos químicos utilizados no processo.

O estudo buscou identificar mudanças nas propriedades magnéticas na área estudada, que pudessem estar relacionadas a processos biogeoquímicos de biodegradação dos hidrocarbonetos. Uma hipótese dessa pesquisa é que a biodegradação natural na área resulte na precipitação de minerais magnéticos produzidos por reações redox com o ferro, durante o metabolismo microbiano.

## 4 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para o estudo, foram coletadas amostras de três testemunhos de perfis de solo diferentes, fornecidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), sendo um background (SD23) (não contaminado) e dois perfis de solos contaminados (SD34 e SD35). Os perfis SD23 e SD34 foram amostrados de maneira igualmente espaçada e o perfil SD35 foi amostrado apenas onde a presença de contaminante foi identificada.

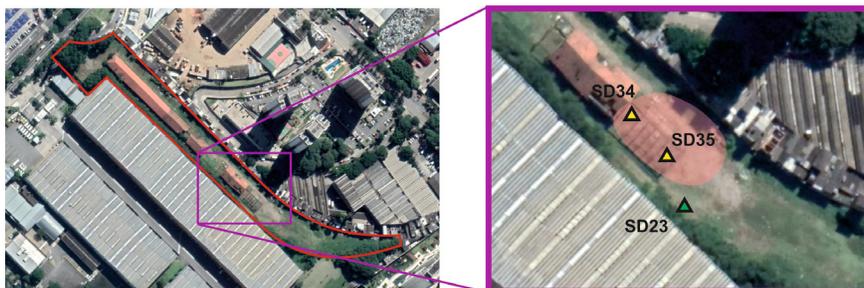


Figura 3: Imagem do local de estudo no bairro do Jaguaré, SP e perfis de amostragem SD23 (verde - background), SD34 e SD35 (amarelo - contaminados), e pluma de contaminação de hidrocarboneto em rosa. Imagem Google Earth.

### 4.1 Curvas Termomagnéticas

O estudo da variação da susceptibilidade magnética em função da temperatura permite identificar os minerais magnéticos presentes em amostras de rochas e sedimentos.

A susceptibilidade magnética ( $k$ ) de um material é definida pela capacidade de adquirir magnetização por unidade de volume ( $M$ ) quando aplicado um campo magnético uniforme ( $H$ ) (Evans & Heller, 2003), ou seja:

$$\kappa = \frac{M}{H} \quad [1]$$

Onde  $M$  e  $H$  são dados em A/m e, portanto, a susceptibilidade magnética volumétrica ( $k$ ) é uma unidade adimensional.

Materiais ferromagnéticos possuem uma magnetização de saturação, ou seja, um valor máximo de magnetização que podem possuir para determinada temperatura. A magnetização de saturação diminui conforme o aumento da temperatura, até tornar-se zero na temperatura de Curie (para materiais ferromagnéticos e ferrimagnéticos) ou temperatura de Néel (para materiais antiferromagnéticos), quando o material passa a ter comportamento paramagnético. A variação da susceptibilidade com a temperatura varia para cada mineral magnético, assim como as temperaturas de Curie e Néel (Butler, 1992).

## 4.2 Histerese

Os minerais magnéticos possuem propriedades magnéticas dependentes do volume de seus grãos. Grãos de diferentes tamanhos podem ser classificados por seu domínio magnético como superparamagnético (SP), monodomínio (SD), pseudo-monodomínio (PSD) e multidomínio (MD). O domínio magnético é uma pequena área do grão onde os spins possuem a mesma orientação e, quanto maior o grão, mais domínios este passa a possuir.

A curva de histerese pode ser obtida submetendo um material com propriedades magnéticas a um campo externo constante (H) suficientemente forte, de modo com que a amostra atinja sua magnetização de saturação (Ms). Após a saturação o campo é reduzido a zero, onde o valor de magnetização correspondente é denominado magnetização remanente (Mr). Em seguida um campo inverso ao utilizado para a obtenção da Ms é aplicado, possibilitando a obtenção do valor da coercividade do material, que corresponde ao valor do campo quando a magnetização M é nula. Os efeitos do tamanho do grão podem ser observados nas curvas de histerese, uma vez que partículas ultrafinas (SP-SSD) não são capazes de sustentar magnetização, possuindo assim valores de coercividade baixos, ou seja, a curva de histerese obtida é fina.

## 5 | RESULTADOS

São apresentados dados de curvas termomagnéticas e de histerese para os três poços (SD23, SD34 e SD35).

A Figura 4 apresenta os resultados de curvas termomagnéticas do perfil de solo de background SD23 para as profundidades de 2,7 metros (a) e 5,1 metros (b). É possível observar em ambas profundidades o aumento da susceptibilidade magnética para a curva de resfriamento (em azul) em comparação com a curva de aquecimento (em vermelho), caracterizando, assim, a irreversibilidade da curva, que pode indicar a possível ocorrência de transformações da fase mineral, comum em amostras com grande concentração de matéria orgânica, durante o processo de aquecimento da amostra. As duas curvas de aquecimento apresentam um pico entre as temperaturas de 500 °C a 550 °C, com decaimento acentuado em 580 °C como característica da temperatura de Curie da magnetita, indicando a presença desse mineral nas amostras.

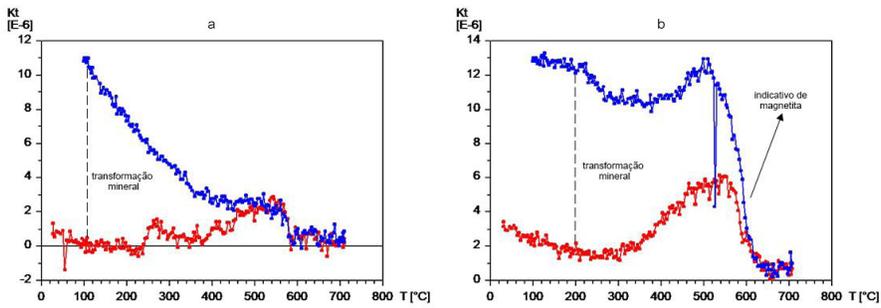


Figura 4: Curvas termomagnéticas com amostras do poço SD23 (background). Cada curva corresponde a uma profundidade sendo: a) 2,7 metros. b) 5,1 metros.

Uma análise semelhante pode ser realizada para a Figura 5, que apresenta as curvas termomagnéticas de amostras do perfil SD34 (contaminado) para profundidades de 2,7 metros (a) e 5,7 metros (b). Na figura é possível observar o mesmo pico com decaimento em 580 °C característico da magnetita, que indica a presença do mineral nas duas amostras. Diferentemente do restante das curvas, a Figura 5b não apresenta um aumento da susceptibilidade magnética para a curva de resfriamento (em azul), caracterizando assim a reversibilidade da curva e indicando a não ocorrência de processos de mudança de fase mineral para a amostra.

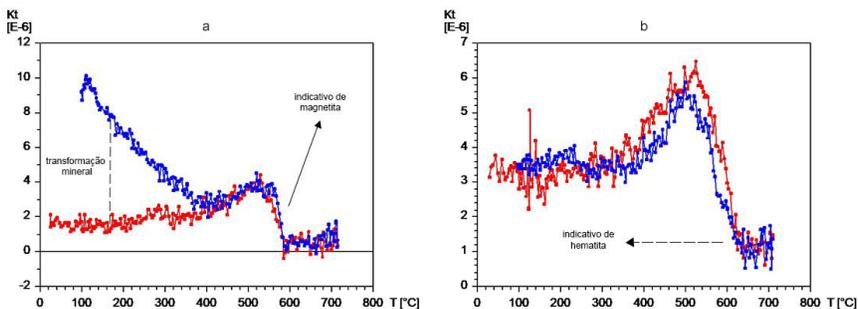


Figura 5: Curvas termomagnéticas com amostras do poço SD34 (contaminado). Cada curva corresponde a uma profundidade sendo: a) 2,7 metros. b) 5,7 metros.

As curvas obtidas para as amostras do perfil de solo contaminado SD35 são apresentadas na Figura 6. Assim como obtido para a Figura 5b, as curvas exibidas na figura não apresentam um aumento da susceptibilidade magnética para a curva de resfriamento (em azul) tão expressivo quanto o obtido para os outros dois poços. Da mesma forma, não apresentam pico de susceptibilidade próximo a 550 °C com decaimento acentuado em 580 °C, indicando uma menor abundância de magnetita nas amostras quando comparado com

os outros perfis. Os resultados obtidos sugerem transformações minerais mais realçadas na região de background, em relação a região contaminada. Uma possível explicação para essa diferença poderia estar associada a ação biocida do creosoto, responsável por diminuir a quantidade de bactérias redutoras de ferro do meio, refletindo na menor concentração de minerais magnéticos.

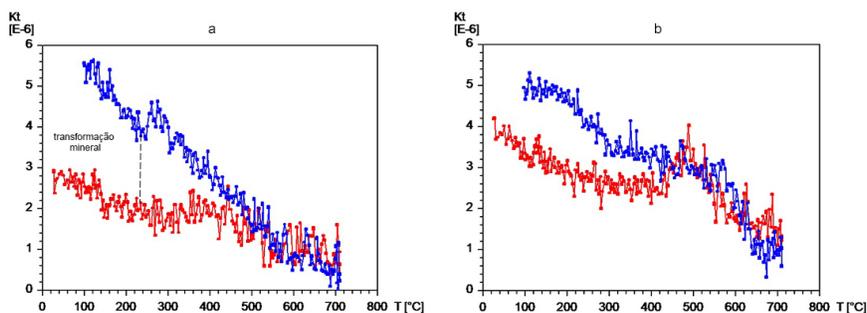


Figura 6: Curvas termomagnéticas com amostras do perfil SD35 (contaminado). Cada curva corresponde a uma profundidade sendo: a) 2,8 metros. b) 5,14 metros.

A Figura 7 apresenta os resultados de curvas de histerese com seus respectivos valores de magnetização de saturação ( $M_s$ ), magnetização remanente ( $M_r$ ) e campo coercivo ( $H_c$ ) para amostras do poço SD23 (background). Para a profundidade de 2,7 metros o valor de campo coercivo é razoavelmente maior que para a profundidade de 5,1 metros, indicando a presença de partículas magnéticas maiores em profundidades mais rasas do poço.

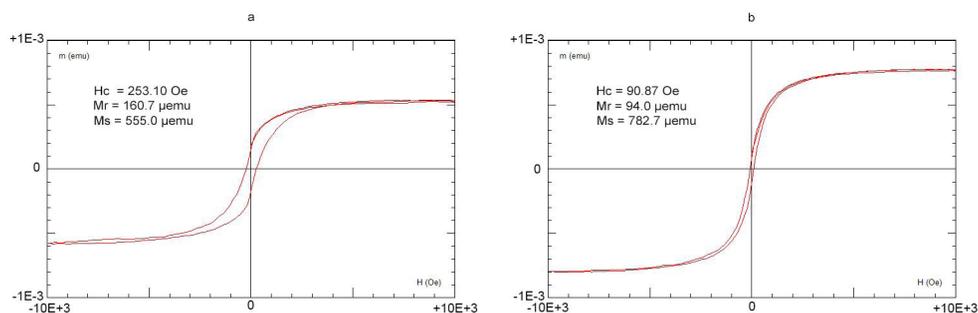


Figura 7: Histerese com amostras do poço SD23 (background). Cada curva corresponde a uma profundidade sendo: a) 2,7 metros. b) 5,1 metros.

Os resultados das curvas de histerese para as amostras do poço contaminado SD34 são apresentados na Figura 8. Os valores de campo coercivo possuem valores da mesma ordem de grandeza que o observado para o perfil SD23.

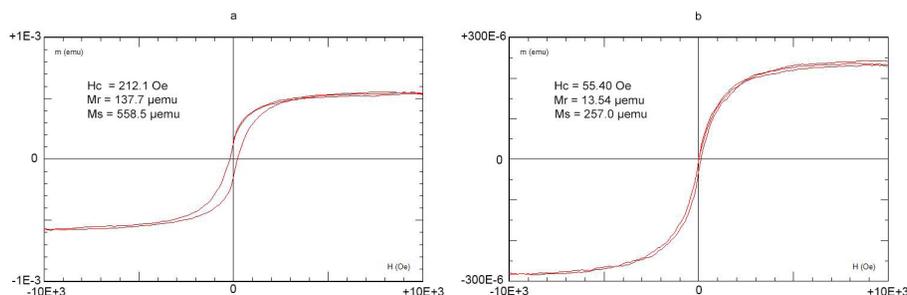


Figura 8: Histerese com amostras do perfil SD34 (contaminado). Cada curva corresponde a uma profundidade sendo: a) 2,7 metros. b) 5,7 metros.

Para o perfil contaminado SD35 os resultados de curva de histerese são apresentados na Figura 9. Assim como para os outros perfis, as curvas indicam uma maior concentração de minerais magnéticos ultrafinos na zona saturada, compatível com o tipo de mineralização produzida por bactérias dissimilatórias.

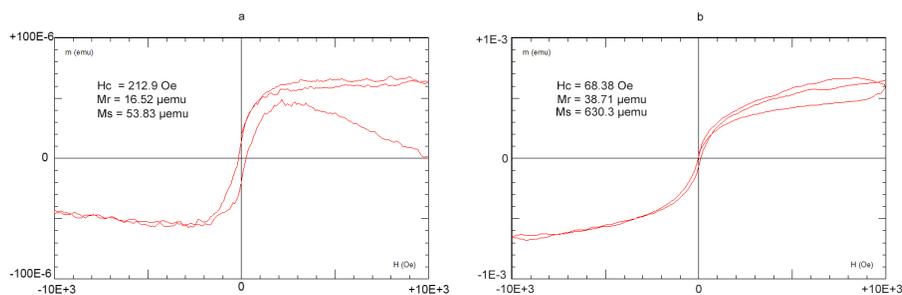


Figura 9: Histerese com amostras do perfil SD35 (contaminado). Cada curva corresponde a uma profundidade sendo: a) 2,8 metros. b) 5,14 metros.

## 6 | CONCLUSÕES

Os estudos preliminares apontam para uma relação entre a maior concentração do contaminante creosoto e a diminuição na quantidade de bactérias redutoras de ferro do meio. Tal diminuição pode impactar na intensidade do metabolismo microbiano na região contaminada, refletindo em diferenças na mineralogia magnética. Os processos

biogeoquímicos se refletem nas características do solo, pelo confinamento do creosoto, o que indicaria os processos de remediação do contaminante mais adequados. Salienta-se que um estudo complementar da mineralogia no perfil de solo, com foco nos argilominerais, poderá auxiliar na interpretação biogeoquímica, mas, o caráter biocida do creosoto indica ser esse o principal responsável pelas observações biogeoquímicas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela bolsa de pesquisa do projeto (processo 2019/23677-2). Ao LRAC (Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas), do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e ao FIPT (Fundação de Apoio ao Instituto de Pesquisa Tecnológica) pelo apoio e financiamento do projeto do pesquisador Alexandre Muselli Barbosa.

## REFERÊNCIAS

Atekwana, E. A., and L. D. Slater (2009), *Biogeophysics: A new frontier in Earth science research*, Rev. Geophys., 47, RG4004, doi:10.1029/2009RG000285.

Atekwana, E. A., Mewafy, F. M., Aal, G. A., Werkema, D. D., Revil, A., & Slater, L. D. (2014). High-resolution magnetic susceptibility measurements for investigating magnetic mineral formation during microbial mediated iron reduction. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 119 (1), 80–94. Doi:10.1002/2013jg002414.

Baedecker, M.J., Cozzarelli, I.M., Eganhouse, R.P., Siegel, D.I., Bennett, P.C., 1993. Crude oil in a shallow sand and gravel aquifer: III. Biogeochemical reactions and mass balance modeling in anoxic groundwater. *Applied Geochemistry* 8, 569–586. [https://doi.org/10.1016/0883-2927\(93\)90014-8](https://doi.org/10.1016/0883-2927(93)90014-8).

Bekins, B. A., I. M. Cozzarelli, E. M. Godsy, E. Warren, H. I. Essaid, and M. E. Tuccillo (2001), Progression of natural attenuation processes at a crude-oil spill site: II. Controls on spatial distribution of microbial populations, *J. Contam. Hydrol.*, 53, 387–406, doi:10.1016/S0169-7722(01)00175-9.

Butler, R. F. (1992). *Paleomagnetism: Magnetic domains to geologic terranes*, 319 pp., Electronic Edition. Doi:10.1006/icar.2001.6754.

Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo (CETESB), 2016. Valores Orientadores Para Solos E Águas Subterrâneas No Estado De São Paulo. <https://www.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-256-2016-E-Valores-Orientadores-Dioxinas-e-Furanos-2016-Intranet.pdf> (acessado em 11 de fevereiro de 2021).

Cozzarelli, I. M., B. A. Bekins, M. J. Baedecker, G. R. Aiken, R. P. Eganhouse, and M. E. Tuccillo (2001), Progression of natural attenuation processes at a crude-oil spill site: I. Geochemical evolution of the plume, *J. Contam. Hydrol.*, 53, 369–385, doi:10.1016/S0169-7722(01)00174-7.

Evans, M. E., & Heller, F. (2003). *Environmental magnetism: Principles and applications of enviromagnetics*. Amsterdam: Academic Press.

Freitas, L. G., Gandolfo, O. C. B., Galli, V. L., Blanco, R. G., Barbosa, A. M. & Leite, D. C., (2015). Integração de Métodos Geofísicos com a sonda MIP para caracterização estratigráfica de uma área contaminada, 15° Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia Ambiental.

Huling, S. G., Weaver, J. W. 1991. Ground Water Issue: Dense Nonaqueous Phase Liquids. National Service Center for Environmental Publications (NSCEP). United States Environmental Protection Agency (USEPA). <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/2000L09G.PDF?Dockey=2000L09G.PDF> (acessado em 11 de fevereiro de 2021)

Kessouri, P., Furman, A., Huisman, J., Martin, T., Mellage, A., Ntarlagiannis, D., Bücken, M., Ehosioke, S., Fernandez, P., Flores-Orozco, A., Kemna, A., Nguyen, F., Pilawski, T., Saneiyani, S., Schmutz, M., Schwartz, N., Weigand, M., Wu, Y., Zhang, C. and Placencia-Gomez, E. (2019), Induced polarization applied to biogeophysics: recent advances and future prospects. *Near Surface Geophysics*, 17: 595-621. <https://doi.org/10.1002/nsg.12072>.

Lovley, D. R., Stoltz, J. F., Nord, G. L., Phillips, E. J. P., (1987). Anaerobic production of magnetite by a dissimilatory iron-reducing microorganism. *Nature* 330, 252-254.

## AVALIAÇÃO DA GENOTOXICIDADE ATRAVÉS DE ALTERAÇÕES MORFONUCLEARES EM ERITRÓCITOS DA ICTIOFAUNA DO MÉDIO RIO SÃO FRANCISCO EM MINAS GERAIS (BRASIL)

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 04/02/2021

### Lucélia Sandra Silva Barbosa Braga

Instituto Federal Norte de Minas Gerais –  
IFNMG/Campus Januária  
Januária – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/5160628369488763>

### Maria Rosilene Alves Damasceno

Instituto Federal Norte de Minas Gerais –  
IFNMG/Campus Januária  
Januária – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/8738435274938100>

### José Ermelino Alves Damasceno

Universidade Estadual de Montes Claros –  
UNIMONTES/Campus Janaúba  
Janaúba – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/8575292477239396>

**RESUMO:** O rio São Francisco está vulnerável à contaminação por poluentes oriundos do lançamento de esgotos domésticos, industriais e agrícolas, comprometendo a biota aquática. Peixes são muito utilizados como bioindicadores porque respondem aos compostos tóxicos de maneira bastante similar aos grandes vertebrados. São parâmetros importantes também devido fazerem parte da cadeia alimentar humana. Este estudo averiguou a genotoxicidade através da frequência de micronúcleos (teste MN) e ocorrência de outras alterações morfonucleares em eritrócitos de peixes coletados do rio São Francisco a montante e às margens da cidade

de Januária/MG. Justifica-se por elaborar diagnóstico acerca da qualidade do recurso hídrico e do pescado. Os dados obtidos relativos às frequências de micronúcleos e demais alterações morfonucleares, *blebbed*, *lobed* e *notched*, foram submetidas à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. Foi observada a presença de micronúcleos nos eritrócitos de todos os peixes amostrados, bem como a ocorrência das outras alterações morfonucleares, com frequência mais elevada em *Rhinelepis aspera*, *Prochilodus sp.*, *Franciscodoras marmoratus*, *Leporinus sp.*, *Salminus sp.*, *Brycon sp.* Estes resultados sugerem que poluentes acumulados na água são potencialmente capazes de afetar a prevalência e o equilíbrio dinâmico da ictiofauna do rio São Francisco. Estudos complementares como análise de sedimentos e metais são recomendados, bem como a avaliação de animais coletados em ambientes não poluídos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Peixes, Bioindicadores, Rio São Francisco, Xenobióticos, Micronúcleos.

### EVALUATION OF GENOTOXICITY THROUGH MORPHONUCLEAR CHANGES IN ERYTHROCYTES OF THE ICTIOFAUNA OF MIDDLE RIO SÃO FRANCISCO IN MINAS GERAIS (BRAZIL)

**ABSTRACT:** The São Francisco River is vulnerable to contamination by pollutants from the release of domestic, industrial and agricultural sewage, compromising the aquatic biota. Fishes are widely used as bio-indicators because they respond to toxic compounds in a very similar way to large vertebrates. They are also important

parameters because they are part of the human food chain. This study investigated the genotoxicity through the frequency of micronuclei (MN test) and the occurrence of other morphonuclear alterations in erythrocytes from fishes collected from the São Francisco River upstream and on the banks of the city of Januária / MG. It is justified by elaborating a diagnosis about the quality of the water resource and the fish. The data obtained regarding micronucleus frequencies and other morphonuclear changes, *blebbed*, *lobed* and *notched* were subjected to analysis of variance and the means compared by the Scott-Knott test at 5% probability. It was observed the presence of micronuclei in the erythrocytes of all sampled fishes, as well as the occurrence of other morphonuclear alterations, with a higher frequency in *Rhinelepis aspera*, *Prochilodus sp.*, *Franciscodoras marmoratus*, *Leporinus sp.*, *Salminus sp.*, *Brycon sp.* These results suggest that pollutants accumulated in water are potentially capable of affecting the prevalence and dynamic balance of the ichthyofauna of the São Francisco River. Complementary studies such as analysis of sediments and metals are recommended, as well as the evaluation of animals collected in unpolluted environments.

**KEYWORDS:** Fishes, Bio-indicators, São Francisco River, Xenobiotics, Micronuclei.

## 1 | INTRODUÇÃO

O rio São Francisco constitui uma das mais importantes fontes hídricas do Brasil, favorecendo o assentamento humano em regiões semiáridas, a formação de inúmeros aglomerados urbanos, consolidação de polos industriais e agrícolas. Ao longo de seu curso, o rio recebe poluentes oriundos do esgotamento doméstico e industrial, agroquímicos e agrotóxicos procedentes também das atividades agrícolas. (CBHSF, 2015).

A gestão da qualidade das águas em Minas Gerais é realizada pelo IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas). Alguns dos parâmetros que periodicamente não atendem aos limites definidos pela Normativa COPAM/CERH 01/2008 são cobre dissolvido, fósforo total, sulfetos, densidade de cianobactérias tóxicas e coliformes termotolerantes. (IGAM, 2013).

A contaminação do rio São Francisco pode estar acarretando distúrbios fisiológicos, reprodutivos e comportamentais à biota aquática e contribuindo para a diminuição dos estoques naturais da sua ictiofauna. (BARBOSA *et al.*, 2017). Por esta razão, os peixes têm sido elencados como sentinelas para avaliação da qualidade ambiental, pois acumulam substâncias tóxicas pela exposição direta a agentes contaminantes na água, ou indiretamente pela cadeia alimentar, sendo sensíveis a baixas concentrações de mutagênicos e aos mesmos agentes teratogênicos e carcinogênicos que o homem. (AL-SABTI E METCALF, 1995; MATSUMOTO E CÓLUS, 2000; GRISOLIA, 2005; DEUTSCHMANN *et al.*, 2016).

Os peixes teleósteos da classe Actinopterygii, normalmente possuem eritrócitos mononucleados. (HICKMAN *et al.*, 2012). A presença de material genético extranuclear, caracteriza-se por quebra cromossômica, um dano severo ao genoma da célula, que resulta na formação dos micronúcleos. Por isso, a análise de micronúcleo e demais anormalidades nucleares são importantes biomarcadores de genotoxicidade. Estas alterações genômicas

ocorrem espontaneamente nos organismos, entretanto estudos demonstram que a exposição dos peixes a efluente de natureza química diversa pode desencadear aumento das anomalias nucleares. (CARRASCO, 1990; RIVERO, 2007; AZEVEDO *ET AL.*, 2012; DEUTSCHMANN *ET AL.*, 2016).

O teste de micronúcleos MN tem sido muito utilizado para o monitoramento da qualidade ambiental conforme Mersch *et al.* (1996), sendo considerado um ensaio simples, rápido e sensível à detecção de alterações cromossômicas estruturais e/ou numéricas. Os micronúcleos são constituídos por fragmentos cromossômicos ou cromossomos inteiros que não se incorporaram ao núcleo principal durante o processo de divisão celular, sendo considerados como biomarcadores de danos genotóxicos “*in vivo*”. (POLEZA, 2004; RIVERO, 2007; VILCHES, 2009; PORTO, 2009, CETESB, 2016). Além de micronúcleo, outras alterações morfonucleares foram observadas e descritas por Carrasco (1990) e Rivero (2007), denominadas por *blebbed*, *lobed* e *notched* também decorrentes de erros na divisão celular.

A área de estudo compreende as margens e a montante da cidade de Januária localizada na região do médio rio São Francisco, terceira maior cidade do Norte do Estado de Minas Gerais, com estimativa de 67.852 habitantes (IBGE, 2020). Apenas 37,2% dos domicílios tem esgotamento sanitário, limita-se com municípios ribeirinhos, a montante com Pedras de Maria da Cruz e a jusante, com Itacarambi.

Este estudo justifica-se porque os peixes são importantes à nutrição humana e a pesca é uma atividade econômica muito praticada no rio São Francisco. A contaminação aquática afeta negativamente os sistemas biológicos e a contaminação do rio São Francisco pode estar associada à redução dos cardumes e ao risco de não prevalência de algumas espécies neste ecossistema. (BARBOSA *et al.*, 2017).

Este trabalho teve como objetivo principal, investigar a genotoxicidade através da frequência de micronúcleos e outras alterações morfonucleares, *blebbed*, *lobed* e *notched*, em eritrócitos da ictiofauna do médio rio São Francisco que margeia a cidade de Januária em Minas Gerais.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho possui licenciamento ambiental nº45371-1 emitido pelo Ministério do Meio Ambiente – MMA, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, através do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade – SISBIO.

### 2.1 Área de estudo

Os pontos amostrais foram georreferenciados por GPS (Global Positioning System) sendo eles: Ilha de Pedro (S 15°31.435' W 044°22.295) e Rampa de Baixo (S 15°29.576' W 044°21.069'), (FIGURA 1).

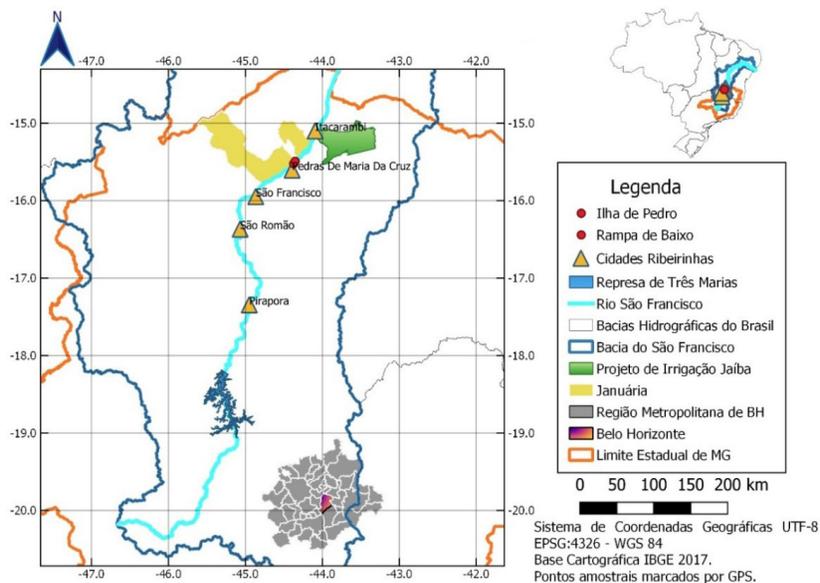


FIGURA 1. Área de estudo na região do médio Rio São Francisco, Januária/MG

## 2.2 Coleta dos peixes

A captura dos peixes foi realizada em 2013/2014. Para os procedimentos de coleta, identificação das espécies e manuseio dos exemplares, foi firmada parceria com a Colônia de Pescadores Z2 do município de Januária, associação legalmente instituída e licenciada para a atividade pesqueira. Os animais foram recolhidos por rede de arrasto.

## 2.3 Teste de Micronúcleos (MN) e outras alterações morfonucleares (AMN)

O teste de micronúcleo foi realizado conforme descrito por Rivero (2007), com modificação. O sangue periférico dos peixes foi coletado através de punção branquial com auxílio de seringas hipodérmicas banhadas com anticoagulante ácido etilendiaminotetracético (EDTA, 3%). A extensão sanguínea de cada espécime foi feita no local da coleta, com aproximadamente 50 µl de sangue, sendo preparados três esfregaços por espécime. As lâminas foram secas em temperatura ambiente por 24 horas. Depois de secas, foram coradas utilizando-se kit para coloração diferencial rápida em hematologia (Instant-Prov Código 1319, Lote 13379E com Registro no Ministério da Saúde 10287910055), seguindo procedimentos conforme recomendado pelo fabricante.

A análise citológica foi realizada em microscópio óptico de luz com objetiva de imersão 100x, considerando 3.000 células por animal. A contagem foi registrada com auxílio de contadores estatísticos analógicos Lee Tools 680233. Os eritrócitos totais e aqueles que apresentavam micronúcleos foram quantificados, bem como subgrupos de outras três alterações morfonucleares distintas sendo *blebbed*, *lobed* e *notched*. (CARRASCO, 1990; RIVERO, 2007; AZEVEDO *et al.*, 2012).

## 2.4 Análise Estatística

Os dados obtidos relativos às frequências de micronúcleos e alterações morfonucleares do tipo, *blebbed*, *lobed* e *notched*, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. O programa utilizado para as análises estatísticas foi o SISVAR. (FERREIRA, 2011).

Foram amostradas 12 (doze) espécies de peixes. A análise estatística dos dados foi obtida com 9 (nove) espécies para as quais foram coletadas um (n) amostral de 5 (cinco) repetições por espécie, totalizando 47 animais. As comparações das médias da frequência de micronúcleos e alterações morfonucleares, demonstra que a incidência de MN apresentou-se mais alta em relação à de AMN em todas as espécies avaliadas.

## 3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se a presença de micronúcleos MN e outras alterações morfonucleares AMN em todas as espécies amostradas para o médio rio São Francisco, sugerindo diagnóstico desfavorável acerca da qualidade ambiental do trecho em que foram realizadas as coletas. (FIGURA 2).

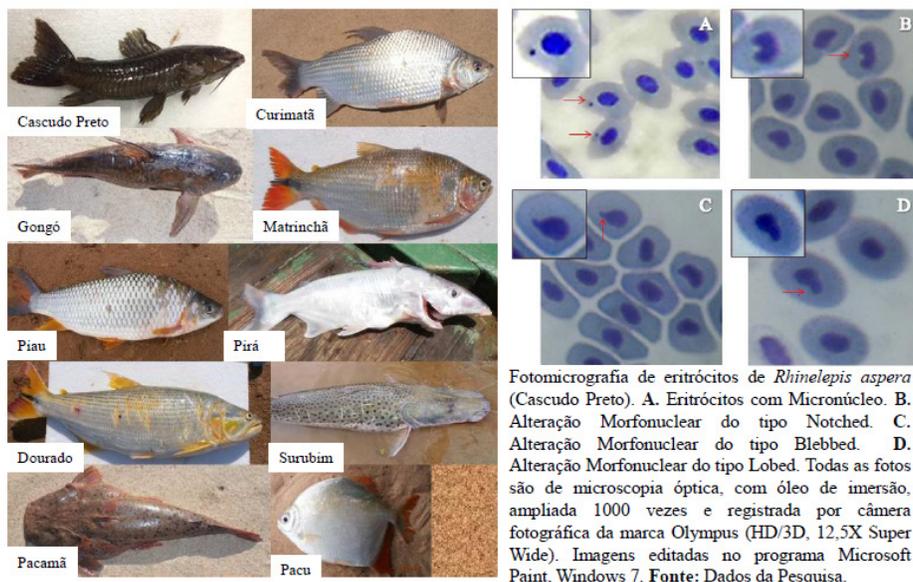


FIGURA 2. Algumas das espécies amostradas da ictiofauna do rio São Francisco e as alterações genéticas observadas nos eritrócitos dos peixes

Algumas das espécies analisadas são relatadas pelo ICMbio (2014) como ameaçadas de extinção na bacia do rio São Francisco, sendo o *Conorhynchos conirostris*

(pirá), *Lophiosilurus alexandri* (pacamã) e *Brycon nattereri* (matrinxã).

Os números absolutos de micronúcleos e outras alterações morfonucleares diferiram entre as espécies, podendo estar correlacionada a fatores como hábitos alimentares, resistência à exposição de contaminantes ou capacidade de reparo das alterações genéticas causadas por agentes genotóxicos (QUADRO 1).

| Peixes                           |                   | Alterações Morfonucleares |                 |              |                |
|----------------------------------|-------------------|---------------------------|-----------------|--------------|----------------|
| Nome Científico                  | Nome Popular      | Micronúcleos (MN)         | <i>Blebbled</i> | <i>Lobed</i> | <i>Notched</i> |
| <i>Rhinelepis aspera</i>         | Cascudo Preto     | 966                       | 28              | 11           | 17             |
| <i>Prochilodus sp.</i>           | Curimatã          | 430                       | 32              | 19           | 8              |
| <i>Salminus sp.</i>              | Dourado           | 80                        | 8               | 20           | 21             |
| <i>Franciscodoras marmoratus</i> | Gongó             | 153                       | 29              | 42           | 22             |
| <i>Pimelodus sp.</i>             | Mandim            | 334                       | 8               | 3            | 7              |
| <i>Brycon sp.</i>                | Matrinxã          | 310                       | 0               | 17           | 33             |
| <i>Myleus sp.</i>                | Pacu              | 96                        | 2               | 19           | 3              |
| <i>Leporinus sp.</i>             | Piau              | 289                       | 18              | 17           | 0              |
| <i>Conorhynchos conirostris</i>  | Pirá              | 24                        | 5               | 7            | 4              |
| <i>Lophiosilurus alexandri</i>   | Pocomon ou Pacamã | 7                         | 2               | 1            | 0              |
| <i>Pseudoplatystoma sp.</i>      | Surubim           | 77                        | 18              | 22           | 7              |
| <i>Hoplias malabaricus</i>       | Traíra            | 171                       | 17              | 17           | 29             |

\*Legenda: Alterações morfonucleares do tipo micronúcleos, *blebbled*, *lobed* e *notched* por amostra.

QUADRO 1. Números absolutos de alterações morfonucleares amostradas em espécies de peixes coletadas na região do médio rio São Francisco em Januária-MG

Fonte: Dados da Pesquisa.

| Espécies      | Frequência   |                 |              |                |
|---------------|--------------|-----------------|--------------|----------------|
|               | Micronúcleos | <i>Blebbled</i> | <i>Lobed</i> | <i>Notched</i> |
| Cascudo Preto | 13.242623 a  | 2.312617 a      | 1.578866 a   | 2.077145 a     |
| Curimatã      | 8.482178 b   | 2.490828 a      | 2.032854 a   | 1.594938 b     |
| Dourado       | 3.972064 c   | 1.494836 b      | 2.141348 a   | 2.216704 a     |
| Gongó         | 5.196647 c   | 2.476224 a      | 3.000985 a   | 2.250572 a     |
| Mandim        | 8.205517 b   | 1.540034 b      | 1.229253 a   | 1.447214 b     |
| Matrinxã      | 7.342399 b   | 1.000000 b      | 2.052130 a   | 2.572820 a     |
| Pacu          | 4.373201 c   | 1.165685 b      | 2.052130 a   | 1.229253 b     |
| Piau          | 7.414348 b   | 2.084836 a      | 2.004711 a   | 1.000000 b     |
| Pirá          | 2.643034 c   | 1.448528 b      | 1.658506 a   | 1.394938 b     |
| Média Geral   | 6.7635567    | 1.7792876       | 1.9723091    | 1.7537316      |
| CV%           | 40.56        | 42.44           | 35.25        | 31.46          |

\*Legenda: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ao nível de significância de 5 % de probabilidade ( $p < 0,05\%$ ).

TABELA 1. Comparação de médias relativas às frequências de micronúcleos, *blebbled*, *lobed* e *notched* em espécies de peixes coletadas na região do médio rio São Francisco em Januária-MG

Fonte: Dados da Pesquisa.

A análise estatística dos dados revelou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para a frequência de micronúcleos e alterações morfonucleares nos eritrócitos das espécies ícticas avaliadas. A espécie *R. aspera* (cascudo preto), quando comparada às outras espécies, foi a que apresentou a maior frequência de micronúcleos, seguida por *Prochilodus sp.*, *Pimelodus sp.*, *Brycon sp.* e *Leporinus sp.* (TABELA 1).

As alterações morfonucleares do tipo *blebbed*, *lobed* e *notched* também sugerem indicativos de citotoxicidade. (SOUZA; FONTANETTI, 2006; RIVERO, 2007; AZEVEDO *et al.*, 2012). Observou-se que as maiores frequências das alterações *blebbed* estão nas espécies Cascudo Preto, Curimatã, Gongó e Piau. Para a concentração de *notched*, percebe-se que as espécies mais afetadas foram Cascudo Preto, Dourado, Gongó e Matrinchá. Para a concentração de *lobed*, embora tenha sido observada em todas as espécies avaliadas, não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas ( $p > 0,05$ ). (TABELA 1).

A espécie *R. aspera* (cascudo preto) está entre as mais afetadas por todas as alterações genéticas morfonucleares. Estes resultados demonstram que a espécie se mostra mais sensível aos agentes teratogênicos, podendo ser elencada como um bioindicador para o monitoramento da qualidade ambiental. (TABELA 1).

Contudo, considerando a vulnerabilidade de *C. conirostris* (Pirá), detectamos nesta espécie o menor nível de dano ao genoma relacionado à ocorrência de micronúcleos e demais alterações morfonucleares. (TABELA 1). O maior nível de dano foi observado em espécies bentônicas, *R. aspera*, *Prochilodus sp.* e *F. marmoratus*. Além disso, *R. aspera* e *Prochilodus sp.*, possuem hábito alimentar iliófago detritívoro, consomem detritos orgânicos que ficam agregados ao sedimento dos rios, onde ficam acumulados diversos poluentes ambientais (PASCHALINI *et al.*, 2019).

## 4 | CONCLUSÕES

Foi constatada a presença de micronúcleos e alterações morfonucleares, *blebbed*, *lobed* e *notched* em todas as espécies de peixes amostradas. Apesar do pequeno número amostral de animais por espécie, as alterações morfonucleares observadas nos eritrócitos sugerem que a exposição a agentes tóxicos podem causar danos ao genoma, corroborando para a escassez dos estoques de peixes na região do médio rio São Francisco. Estudos complementares como análise de sedimentos e metais, bem como, aumento do número de indivíduos por amostra e avaliação de animais recrutados em ambientes não poluídos são recomendados.

Por fim, almejamos que os resultados desta pesquisa possam também contribuir para a formação de uma postura cidadã ética, alicerçada na sustentabilidade e preservação ambiental da bacia do rio São Francisco que demonstra sinais evidentes de intensa antropização.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais-FAPEMIG, Instituto Federal Norte de Minas Gerais IFNMG - Campus Januária, Laboratório Milenium e Colônia de Pescadores Z2.

## REFERÊNCIAS

AL-SABTI, K.; METCALFE, C. D. **Fish micronuclei for assessing genotoxicity in water. Mutation Research.** v. 343, p. 121-135, 1995.

AZEVEDO, J. de S.; BRAGA, E. de S.; RIBEIRO, C. A. O. **Nuclear abnormalities in erythrocytes and morphometric indexes in the catfish *Cathorops spixii* (Ariidae) from different sites on the southeastern Brazilian coast.** Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/S1679-87592012000300005>>. Acesso em: 15 de ago, 2013.

BARBOSA, J.M. et al. **Perfil da ictiofauna da bacia do rio São Francisco.** Acta Fish. Aquat. Res, v. 5 (1): 70-90, Mar, 2017.

CARRASCO, K. R.; TILBURY, K. L.; MYERS, M.S. **Assessment of the piscine micronucleus test as an in situ biological indicator of chemical contaminant effects.** Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, v. 47, p. 2123 -2136, 1990.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade.** 2016. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 5 de mai, de 2019.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – CBHSF (BRASIL). **Caracterização da bacia Hidrográfica- 1ª Parte.** v.1. 360p, 2015. Disponível em:<<http://cbhsaofrancisco.org.br/>>. Acesso em 20 de mar, 2019.

DEUTSCHMANN, B.; KOLAREVIC, S.; BRACK, W.; KAISAREVIC, S.; KOSTIC, J. 2016. **Longitudinal profile of the genotoxic potential of the River Danube on erythrocytes of wild common bleak (*Alburnus alburnus*) assessed using the comet and micronucleus assay B. Science of the Total Environment.**,573: 1441–1449.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia.** v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GRISOLIA, C. K. **Agrotóxicos: mutações, reprodução & câncer; riscos ao homem e ao meio ambiente, pela avaliação de genotoxicidade, carcinogenicidade e efeitos sobre a reprodução.** Brasília, DF: Editora: UnB, 2005.

HICKMAN, C.P.JR.; ROBERTS, L. S.; LARSON, A. **Princípios Integrados de Zoologia.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012. Cap. 26, p. 481-509.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados.** Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/januaria.html>>. Acesso em 20 de mar, 2019.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE ICMBIO MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Portaria MMA nº 445, de 17 de dezembro de 2014.** Dispõe sobre espécies de peixes e invertebrados aquáticos da fauna brasileira ameaçadas de extinção. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/fauna-brasileira/avaliacao-do-risco/PORTARIA\\_N%C2%BA\\_445\\_DE\\_17\\_DE\\_DEZEMBRO\\_DE\\_2014.pdf](https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/biodiversidade/fauna-brasileira/avaliacao-do-risco/PORTARIA_N%C2%BA_445_DE_17_DE_DEZEMBRO_DE_2014.pdf)>. Acesso em 14 de set, 2020.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2013:** resumo executivo / Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 68p. : il. - Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2014.

MATSUMOTO, F. E.; CÓLUS, I. M. S. **Micronucleus frequencies in *Astyanax bimaculatus* (Characidae) treated with cyclophosphamide or vinblastine sulfate.** *Genetics and Molecular Biology*. v. 23, p. 489-492, 2000.

MERSCH, J.; BEAUVAIS, M. N.; NAGEL, P. **Induction of micronucleus in haemocytes and gill cells of zebra mussels, *Dreissena polymorpha*, exposed to clastogens.** *Mutation Research*. v. 371, p. 47-55, 1996.

PASCHOALINI AL, SAVASSI LA, ARANTES FP, RIZZO E, BAZZOLI N. **Heavy metals accumulation and endocrine disruption in *Prochilodus argenteus* from a polluted neotropical river.** *Ecotoxicol Environ Saf*. 2019 Mar; 169:539-550.

POLEZA, S. de C. G. L. **Avaliação do efeito do metilmercúrio (CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup>) em *Hoplias malabaricus* através da frequência de aberrações cromossômicas e dos ensaios cometa e micronúcleo.** Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/2938/disserta%C3%A7%C3%A3o%20final%20Sabine%20Poleza.pdf?sequence=1>>. Acesso em 26 de jan, 2013.

PORTO, L. C. S. **Avaliação de metais pesados e micronúcleos em peixes da bacia hidrográfica Butuí-Icamaquã e análise da água.** Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10737/7>>. Acesso em 26 de jan, 2013.

RIVERO, C. L. G. **Perfil da frequência de micronúcleos e de danos no DNA de diferentes espécies de peixes do lago Paranoá, Brasília-DF, Brasil.** Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10482/2626>>. Acesso em 26 de jan, 2013.

SOUZA, T. DA S.; FONTANETTI, C. S. **Micronucleus test and observation of nuclear alterations in erythrocytes of Nile tilapia exposed to waters affected by refinery effluents.** *Mutation Research*. v. 605, p. 87-93, 2006. DOI: 10.1016/j.mrgentox.2006.02.010.

VILCHES, M. **Análise Genotóxica do rio Cadeia/RS através do ensaio cometa e teste de micronúcleo e anormalidades nucleares utilizando peixes como bioindicadores.** Disponível em: <<http://ged.feevale.br/bibvirtual/Dissertacao/DissertacaoMelissaVilches.pdf>> Acesso em 26 de jan, 2013.

# CAPÍTULO 3

## A REMOTA CIDADE DE ATLÂNTIDA

Data de aceite: 01/03/2021

**Mateus Santana Corrêa**

Universidade Federal do Rio Grande

**RESUMO:** O presente estudo tem por objetivo apontar mediante os escritos originais de Platão e dados geográficos e oceânicos atuais a possível localização da cidade de Atlântida, sob a ótica apresentada por Platão em *Timeu* e *Críticas* de que a cidade seja real.

**PALAVRAS-CHAVE:** Atlântida, localização.

**ABSTRACT:** The present study aims to point out, through Plato's original writings and current geographic and oceanic data, the possible location of the city of Atlantis, under the perspective presented by Plato in *Timaeus* and *Criticisms* that the city is real.

**KEYWORDS:** Atlantis, location.

### INTRODUÇÃO

O objetivo deste artigo é analisar o material referente à cidade histórica de Atlântida, mencionada em diversas obras, como *Timeu e Críticas* ou *A Atlântida*, de Platão e orientar uma possível localização dos destroços da cidade, baseada nessa análise. A primeira menção da cidade histórica de Atlântida, inexoravelmente, se dá por meio da obra de Platão, a qual elucida desde temas filosóficos, como o plano das ideias, o ideal de sociedade

visado pelos pensadores da época e versa, também, sobre a cidade de Atlântida, apontando seu dimensionamento, histórico e localização, servindo de principal fonte de conhecimento para os historiadores e pesquisadores acerca do tema. A obra trabalha seus temas por meio do diálogo dos personagens Sócrates, Timeu, Crítias e Hemócrates.

### ANÁLISE DOS DADOS

A obra de Platão perpassa pelo diálogo entre Sócrates, Timeu, Crítias e Hermócrates, sendo dividido em duas passagens, sendo uma referente a *Timeu* e outra a *Críticas*. Em *Timeu*, encontra-se uma passagem mais introdutória, bem como elucidação filosófica acerca do homem, enquanto em *Críticas* um detalhamento acerca da Atlântida. A análise será dividida em duas partes: *Timeu* e *Críticas*.

### TIMEU

Em seu diálogo, Crítias afirma trazer à Sócrates um relato verdadeiro, passado a si pelo seu avô de mesmo nome, o qual recebeu o relato de Sólon:

“Crítias: Escuta, então, Sócrates, uma estória deveras ímpar, e contudo absolutamente verdadeira, como uma vez a contou Sólon, o mais sábio de entre os Sete Sábios, que era familiar e

muito amigo do meu bisavô Dropidas, tal como ele afirma com frequência na sua obra poética. Contou-a a Crítias, nosso avô, que, já velho, nos narrava de memória que grandes e admiráveis feitos dos tempos antigos desta cidade, que tinham sido esquecidos graças ao tempo e à destruição da humanidade, e a mais grandiosa de todas, seria conveniente que te déssemos a conhecer agora para te oferecer um agradecimento e ao mesmo tempo, em jeito de hino, para elogiar neste louvor a deusa de forma justa e autêntica no dia da sua festa." (Platão, p. 79)

De acordo com a obra, é evidente a proximidade greco-egípcia, bem como a proximidade cultural. Os seres divinos, deuses, hoje trabalhados como mitos, eram de comum conhecimento para diferentes sociedades, como Atena, referida também pelo povo egípcio, reverenciada como Neith.

"Há no Egipto – começou Crítias –, no extremo inferior do Delta, em redor da zona onde se divide a corrente do Nilo, uma região chamada Saiticos; e da maior cidade dessa região, Sais – precisamente de onde era natural o rei Amásis –, foi fundadora uma deusa cujo nome em Egípcio é Neith, e em Grego, segundo dizem os que lá vivem, Atena. Eles nutrem profunda simpatia pelos Atenienses e dizem que, de certo modo, com estes têm afinidades." (Platão, p. 81)

Neste local, é afirmado que Sólon obteve conhecimento acerca de Atlântida por um sumo sacerdote, o qual chama aos atenienses de infantes, por terem perdido aos seus registos históricos de longa data, após eventos cataclísmicos que assolaram à humanidade.

"Ó Sólon, Sólon, vós, Gregos, sois todos umas crianças; não há um grego que seja velho". Ouvindo tais palavras, Sólon indagou: "O que queres dizer com isso?" "Quanto à alma, sois todos novos – disse ele. É que nela não tendes nenhuma crença antiga transmitida pela tradição nem nenhum saber encanecido pelo tempo. A causa exacta é a seguinte: muitas foram as destruições que a humanidade sofreu e muitas mais haverá; as maiores pelo fogo e pela água, mas também outras menores por outras causas incontáveis." (Platão, p.83)

Destaca o sacerdote egípcio que um dos feitos mais incríveis do povo de Sólon, no passado, foi ter enfrentado Atlântida em um momento no qual a *hybris* dominou a esse povo, o qual começou a tecer expedições militares e exploração dos demais povos.

"Muitos e grandes foram os feitos da vossa cidade que são motivo de admiração nos registos que deles aqui ficaram. Mas, entre todos eles, destaca-se um em grandeza e beleza; os nossos escritos referem como a vossa cidade um dia extinguiu uma potência que marchava insolente em toda a Europa e na Ásia, depois de ter partido do Oceano Atlântico. Em tempos, este mar podia ser atravessado, pois havia uma ilha junto ao estreito a que vós chamais Colunas de Hércules – como vós dizeis; ilha essa que era maior do que a Líbia e a Ásia juntas, a partir da qual havia um acesso para os homens daquele tempo irem às outras ilhas, e destas ilhas iam directamente para todo o território continental que se encontrava diante delas e rodeava o verdadeiro oceano. De facto, aquilo que está aquém do estreito de que

falamos parece um porto com uma entrada apertada. No lado de lá é que está o verdadeiro mar e é a terra que o rodeia por completo que deve ser chamada com absoluta exactidão “continente”. (Platão, p. 87)

Nessa passagem, fica evidente o apontamento do sacerdote quanto à localização de Atlântida: uma cidade que perpassa as Colunas de Hércules, uma grande ilha-continente, com outras menores ao redor, à qual permitia uma travessia direta ao continente oposto, o grande continente.

Em seguimento, ele elucida sobre o poderio de Atlântida e sua ruína, em feroz batalha com o povo ancestral de Atenas, frente a um grande cataclisma:

“ Nesta ilha, a Atlântida, havia uma enorme confederação de reis com uma autoridade admirável que dominava toda a ilha, bem como várias outras ilhas e algumas partes do continente; além desses, dominavam ainda alguns locais aquém da desembocadura: desde a Líbia ao Egito e, na Europa, até à Tirrénia. Esta potência tentou, toda unida, escravizar com uma só ofensiva toda a vossa região, a nossa e também todos os locais aquém do estreito. Foi nessa altura, ó Sólon, que, pela valentia e pela força, se revelou a todos os homens o poderio da vossa cidade, pois sobrepôs-se a todos em coragem e nas artes da guerra, quando liderou o exército grego e, depois, quando foi deixada à sua própria mercê, por força da desistência dos outros povos e correu riscos extremos. Mas veio a erigir o monumento da vitória ao dominar quem nos atacava; impediu que escravizassem, entre outros, quem nunca tinha sido escravizado, bem como todos os que habitavam aquém das Colunas de Hércules, e libertou-os a todos sem qualquer reserva. Posteriormente, por causa de um sismo incomensurável e de um dilúvio que sobreveio num só dia e numa noite terríveis, toda a vossa classe guerreira foi de uma só vez engolida pela terra, e a ilha da Atlântida desapareceu da mesma maneira, afundada no mar. É por isso que nesse local o oceano é intransitável e imperscrutável, em virtude da lama que aí existe em grande quantidade e da pouca profundidade provocada pela ilha que submergiu.”(Platão, p.88)

Na sequência, surge, por meio do personagem Crítias, ainda no relato de subtítulo Timeu, surge a confirmação da veracidade dos fatos, bem como vale destacar que ele afirma, por meio de suavização da linguagem perante o discurso dos personagens, que a cidade é de fato real, transferindo o mito para a realidade :

“ Por isso, concordei prontamente com as tuas determinações de ontem, acreditando que, em todos os casos como este, o encargo mais importante é propor um discurso que seja adequado aos objectivos e possa ser suficientemente vantajoso para nós. Assim, tal como Hermócrates disse, mal ontem saí daqui, repeti-lhes aquilo de que me lembrava; e, depois de me ter ido embora, reflecti durante a noite e recuperei quase tudo. Em boa verdade, o que se aprende na infância, segundo se diz, fica admiravelmente retido na memória. Com efeito, o que ouvi ontem, não sei se eu o conseguirei trazer de novo à memória por completo, mas em relação ao que apreendi há já muito tempo, ficaria absolutamente admirado se me escapasse alguma coisa. De facto, era com tanto prazer e entusiasmo infantil que as escutava, além de o ancião mas contar de bom grado (enquanto lhe fazia perguntas repetidamente) que, tal como aquele tipo de escrita em pintura encáustica<sup>51</sup>

que subsiste, se tornaram para mim indelévels. Assim, logo ao amanhecer, contei-lhes isto, de modo a que me acompanhassem no relato. E agora, pois foi por causa disso que referi tudo isto, estou preparado, ó Sócrates, a relatá-lo não só no que se refere aos seus aspectos principais, mas também ao pormenor, tal como o ouvi. Quanto aos cidadãos e à cidade que tu ontem nos descreveste como num mito, ponhamo-los aqui, transportando-os para a realidade, como se aquela cidade fosse esta aqui, e suponhamos que aqueles cidadãos que tu tinhas em mente são os nossos antepassados – os reais; aqueles de que falava o sacerdote. Estarão em absoluta harmonia e nós não estaremos fora de tom se dissermos que eles são os que existiram naquele tempo. Assim, dentro dos possíveis, tentaremos todos em conjunto ocupar-nos da tarefa que nos entregaste. Portanto, ó Sócrates, é preciso ter em atenção se este discurso está de acordo com o nosso propósito, ou se devemos procurar um outro em substituição dele.” (Platão, p. 90)

A alusão ao transporte para a realidade também se refere ao povoado ao qual Sócrates elucidava, considerando-o como ancestral de Atenas para a referida batalha na qual esse povoado enfrentaria Atlântida, conforme elucidado na citação da página 88.

## CRÍTICAS

Segue relatando as dimensões da ilha da Atlântida e situando-a no tempo, por meio do diálogo com os demais personagens:

“Primeiro que tudo, recordemos o principal: passaram nove mil anos desde a referida guerra entre os que habitavam além das Colunas de Hércules e todos aqueles que estavam para aquém; convém agora que discorramos sobre ela em pormenor. De um lado, segundo se diz, estava a nossa cidade que comandou e travou a guerra até ao fim, enquanto que do outro estavam os reis da Ilha da Atlântida, ilha essa que, como dissemos há pouco, era maior do que a Líbia e a Ásia juntas. Mas, actualmente, por estar submersa graças aos tremores de terra, constitui um obstáculo de lama intransitável para aqueles que querem navegar dali para o alto-mar, de tal forma que nunca mais pode ser ultrapassado.” (Platão , p. 220)

Ainda no contexto de tempo, situa que, durante o auge da cidade de Atlântida, os demais povos estavam pairando nos primórdios da civilização, atribuindo-lhes a adjetivação de “bárbaro”:

“Quanto aos vários povos bárbaros, e também

todos os que de entre os Gregos existiam naquele tempo” (Platão, p. 220)

Critias descreve a criação da humanidade como sendo obra de seres os quais encontraram na Terra um local de interesse e com boa alocação de recursos, criando aos homo sapiens e guiando-os:

“ Em determinada altura, os deuses dividiram toda a terra em regiões – sem recurso a disputa; nem seria correcto dizer que os deuses ignoravam o que era apropriado a cada um deles, nem tampouco que, apesar de saberem o que era mais adequado para os outros, tentavam, entre si, apropriar-se disso para si próprios por meio de disputas –, e, havendo obtido a região que lhes agradava, de acordo com as sortes da Justiça, povoaram esses lugares. Depois de os terem povoado, criaram-nos como se fossem bens ou animais, à semelhança de pastores com o gado, só que não subjugavam corpos com corpos, como os pastores que orientam os rebanhos à pancada, mas da melhor maneira para lidar com uma criatura que é guiá-la pela proa: tomando, de acordo com o seu próprio desígnio, a alma como um leme, por meio da persuasão, conduziam e governavam deste modo todos os seres mortais.” (Platão, p. 221)

Platão ( p. 234) afirma que os atlantes construíram um canal com três peltros(88,8 metros) de altura, cem pés (29,6 metros) de profundidade e cinquenta estádios de comprimento(8880 metros), localizado com início no mar e se estendendo até o anel exterior.

Platão(p. 235) define a dimensão do maior anel de Atlântida, sendo o que passa pelo mar, como sendo de três estádios ( 534 metros). O anel contíguo, o qual passava a terra, tinha as mesmas dimensões do seu antecessor. Dos seguintes, o de água possuía dois estádios de largura(355,2 metros) e o de terra que se sucedia também. O anel que circulava o centro da ilha tinha um estádio (177,6 metros). A ilha a qual era referente à zona real tinha 5 estádios (888 metros) de diâmetro. Havia, em volta dela, a partir dos anéis, de um lado ao outro da ponte, um peltro de largura(29,6 metros), muralhas e torres em ambos os lados da ponte.

Platão (p. 236) diz que a parte interior do templo localizado na zona real, no centro, contendo a estátua de Poseidon tinha um estádio de comprimento(177,6 metros) e três peltros(88,8 metros) de largura.

Platão (p. 238) relata também a existência, na grande ilha, de um hipódromo de um estádio (177,6 metros) de largura, com comprimento compreendido na totalidade do anel para competição de cavalos.

Platão (p. 239) elucida que as periferias da residência dos reis, eram dispostas de forma que, após atravessar os 3 portos, vindo do exterior, havia uma muralha, de forma circular, que se estendia a partir do mar, totalizando cinquenta estádios (8880 metros). A periferia da cidade era alta, escarpada, porém plana, rodeada de montanhas em círculo que se estendiam até o mar. A zona era plana e oblonga, com três mil estádios (532,8 quilômetros) em uma direção, com a parte central de dois mil estádios (355,2 quilômetros), do mar até o topo. Essa região da ilha era orientada para o sul, abrigada no norte.

Platão (p.240) orienta que a planície fora preservada pelos reis, com sua área formando um quadrilátero retangular e oblongo, com o restante em uma vala escavada em círculo. As dimensões dessa vala, visto que foram feitas por mãos humanas, são dadas como duvidosas de sua exatidão, valendo a história contar como sendo de um peltro (29,6 metros) de profundidade, um estádio de largura em todos os pontos (177,6 metros). Como fora escavada em toda a volta da planície, a largura era de 10 000 estádios (1776 quilômetros). A cidade recebia água pelos canais, que vinham das montanhas. Esta chegava à planície de todos os lados. Por tal, foram talhados canais de 100 pés (29,6 metros) de largura, afastados 100 estádios (17,76 quilômetros) um do outro.

Platão (p.241) diz que a população fora dividida em distritos, cujas regiões correspondiam a 10 estádios (1776 metros) por 10 estádios (1776 metros), com total de sessenta mil distritos.

## CONCLUSÃO

Conforme a SUGUIO (1985), é de fato que o nível dos oceanos era inferior ao atual, logo caminhos de terra poderiam ser formados mais facilmente a partir de fragmentos, sejam compactos ou continentais, que se encontram, atualmente submersos.

O dimensionamento da ilha citado da página 220 será relativizado para a análise, dada a impossibilidade de se medir com exatidão, em época, o tamanho somado da Ásia menor e da Líbia para se fazer um comparativo exato com a Atlântida, bem como o fato da página 87 ressaltar a Atlântida como um continente composto de mais de uma ilha, sendo, portanto, uma maneira de apontar o quão grande é a extensão de terra, ao passo que possibilitaria atravessar para outro continente; todavia é uma orientação, não um dimensionamento exato, diferente dos dimensionamentos internos da cidade de Atlântida, os quais são apontados com exatidão. Mesmo algumas medidas exatas, afirma Platão (p.240), devem ser relativizadas, visto que foram feitas por mãos humanas.

O grande continente, o qual é citado na página 220 como rodeador do oceano Atlântico é, de fato a América. Seria incoerente, por parte do relato do sacerdote egípcio

à Solon, destacar o fato de Atlântida ser uma ponte para o continente se este fosse a Eurásia, visto que deve-se considerar o contexto egípcio, dado o relatante original da história passada à Sólon, que fora transmitida ao ancião Crítias e, então do atual Crítias à Sócrates. O ponto de referência é, inexoravelmente, o egípcio.

As Colunas de Hércules servem como ponto referencial para apontar ao oceano Atlântico. Embora a localização das colunas sejam discutidas, considera-se como o estreito de Gibraltar.

Com base nos dados evidenciados, a localização da ilha de Atlântida é direcionada para as proximidades da atual Groelândia, ficando à leste-sudeste deste território, podendo ter uma parcela de sua extensão ao sul. Nesse ponto, é cabível encaixar, em um oceano mais baixo, uma extensão de terra grande o bastante para possibilitar o trânsito de pessoas até o continente americano, sem prejuízo do dimensionamento da cidade ou da orientação de direção dada pelo sacerdote de Neith à Sólon.

Portanto, com base no estudo, as evidências apontam a constituição do continente perdido de Atlântida, bem como a localização da ilha que contém a principal cidade, como situada nas proximidades da Groelândia.

## REFERÊNCIAS

PLATÃO. *Timeu e Crítias*. Tradução de Rodolfo Lopes. Globo, 1971. Disponível em : [https://edisdisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4870800/mod\\_resource/content/0/Plat%C3%A3o\\_Timeu-%20Completo.pdf](https://edisdisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4870800/mod_resource/content/0/Plat%C3%A3o_Timeu-%20Completo.pdf) Acesso em: 25.02.2020.

SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A.; DOMINGUEZ, J.; Flexor; Jean-M.; DE AZEVEDO, A. . *FLUTUAÇÕES DO NÍVEL RELATIVODO MAR DURANTE OQUATERNÁRIO SUPERIOR AO IONGO DO LITORAL BRASILEIRO ESUAS IMPLICAÇÕES NA SEDIMENTAÇÃO COSTEIRA*. Revista Brasileira de Geociências, Volume 15. 1985. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjB5v2Rvs3nAhX3HLkGHb1XCDwQFjAAegQIBBAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ppegeo.igc.usp.br%2Findex.php%2Frbg%2Farticle%2Fdownload%2F12026%2F11570&usq=AOvVaw2ilrztijm9aFqpWQfLd9kR>

ROSENFELD, Anatol. *Texto/Contexto*. Editora Perspectiva,1976.

LEITE, Lígia. *O foco Narrativo*. Editora ática: 2006.

ARISTÓTELES. *Arte Poética*. Editora Martin Claret: 2004.

GANCHO, Candida. *Como analisar narrativas*. Editora Atica, 2004

NAHID, Samira. *O enredo*. Editora Atica, 2006.

FIORIN, José. *Elementos de Análise do discurso*. Editora Contexto, 2004.

BARROS, Diana. *A teoria semiótica do texto*. Editora Atica, 1990.

MAINGUENEAU, Dominique. *Discurso e análise do discurso*. Editora Parábola, 2015.

BERLITZ, Charles. *Atlântida o oitavo continente*. Editora Circulo do livro, 1988.

SASS, Roseliz. *Atlântida Principio e fim da grande tragédia*. Editora Ordem do graal na terra, 1997.

MUCK, Otto. *O fim de Atlântida*. Editora Circulo do livro, 1976.

BERLITZ, Charles. *O mistério da Atlântida*. Editora Nova fronteira, 1976.

HUTIN, Serge. *Homem e civilizações fantásticas*. Editora Hermus, 1995.

GAMOW, George. *Biografia da terra*. Editora Globo, 1961.

DE CAMP, Lyon. *Continentes perdidos*. Editora Livros do Brasil, 1970.

ELLIOT, William. *Atlântida e Lemúria: Continentes desaparecidos*. Editora Pensamentos, 1995.

BLACKBURN, Simon. *A república de Platão(uma biografia)*. Editora Zahar, 2008.

PLATÃO. *A República*. Editora Martin Claret, 2009.

PETIT, Paul. *História Antiga*. Editora Bertrand Brasil, 1995.

EVEDY, Colin. *Atlas da his*

## CURVA DE KEELING - A MEDIDA DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO – CO<sub>2</sub> – NA ATMOSFERA: UM ENSAIO DE MODELAGEM VIA MÉTODO UNIVARIADO SARIMA

Data de aceite: 01/03/2021

**Alexandre Boleira Lopo**

<http://lattes.cnpq.br/5108816345823701>

**RESUMO:** O objetivo desta pesquisa refere-se a construção de um modelo univariado SARIMA (auto-regressivo integrado sazonal de médias móveis) ajustado à variabilidade da medida da concentração de dióxido de carbono – CO<sub>2</sub> – na atmosfera, com a finalidade de realizar a previsão desta variável a partir de seu comportamento temporal/histórico (valores no passado) e componente sazonal. Os dados de 1958 a 2020 de concentração de CO<sub>2</sub> em partes por milhão (ppm) na Atmosfera foram obtidos no site da *Scripps Institution of Oceanography*. Os cálculos foram realizados linguagem R. O método consistiu de quatro etapas: (1) Estudo descritivo; (2) Análise e decomposição da série temporal; (3) Construção do modelo SARIMA com identificação, estimação dos parâmetros e análise dos resíduos; e (4) Previsões/simulações de concentração de dióxido de carbono – CO<sub>2</sub>. Concluiu-se que o modelo SARIMA (1,1,1) x (1,1,1)<sub>12</sub> foi adequado em função da normalidade e independência dos seus resíduos. As previsões com o modelo indicam, sem considerar o intervalo de confiança de 95%, que em 2030, os valores de CO<sub>2</sub> na Atmosfera estarão próximo a 438 ppm, um valor superior em 39% ao início das medições em 1958.

**PALAVRAS-CHAVE:** IPCC, série temporal, estimação dos parâmetros, previsões, análise

de resíduos.

KEELING CURVE - MEASURING THE CONCENTRATION OF CARBON DIOXIDE - CO<sub>2</sub> - IN THE ATMOSPHERE: A MODELING TEST THROUGH THE SARIMA UNIVARIATED METHOD

**ABSTRACT:** The objective of this research refers to the construction of a univariate model SARIMA (integrated seasonal regression of moving averages) adjusted to the variability of the measurement of the concentration of carbon dioxide - CO<sub>2</sub> - in the atmosphere, in order to carry out the forecast of this variable based on its temporal / historical behavior (values in the past) and seasonal component. The 1958 to 2020 data on the concentration of CO<sub>2</sub> in parts per million (ppm) in the atmosphere were obtained from the website of the Scripps Institution of Oceanography. The calculations are performed in R language. The method consisted of four steps: (1) Descriptive study; (2) Analysis and decomposition of the time series; (3) Construction of the SARIMA model with identification, parameter estimation and waste analysis; and (4) Carbon dioxide - CO<sub>2</sub> concentration predictions / simulations. It was concluded that the SARIMA (1, 1, 1) x (1, 1, 1)<sub>12</sub> model was adequate due to the normality and independence of its residues. The predictions with the model indicate, without considering the 95% confidence interval, that in 2030, the CO<sub>2</sub> values in the atmosphere will be close to 438 ppm, a value 39% higher than the beginning of the measurements in 1958.

**KEYWORDS:** IPCC, time series, parameter estimation, predictions, waste analysis.

## 1 | INTRODUÇÃO

A ‘Curva de Keeling’ é o gráfico mais importante para entender o aquecimento global no Planeta Terra, pois indica a medida do gás de efeito estufa, ou seja, a concentração de dióxido de carbono –  $\text{CO}_2$  – na atmosfera. A curva tem seus dados obtidos em Mauna Loa, Havaí desde o ano de 1958 até o presente momento. O monitoramento teve início em 1956 pela iniciativa do cientista Charles David Keeling, um dos pioneiros do estudo das concentrações atmosféricas de  $\text{CO}_2$ . Lembrando que uma elevação da concentração de  $\text{CO}_2$ , principal gás do efeito estufa, representa o aumento do aquecimento global segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

Charles David Keeling contribuiu significativamente para o avanço do conhecimento científico, pois até a primeira metade do século 20 havia poucas medidas do  $\text{CO}_2$  na atmosfera, com resultados que variavam amplamente. Keeling caracterizou as variações na concentração de dióxido de carbono atmosférico registradas entre diferentes localidades, bem como o padrão de variação ao longo do dia e da noite, além disso, desenvolveu equipamentos de precisão para monitoramento e o método de observação das concentrações de  $\text{CO}_2$  da atmosfera livre, como a técnica que fazia o levantamento da proporção entre diferentes isótopos de carbono e tornava possível identificar a fonte emissora do gás.

O artigo de Keeling publicado na revista *Tellus* sob o título “Variações atmosféricas de dióxido de carbono no observatório Mauna Loa” documentou pela primeira vez o notável aumento de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. Keeling começou o monitoramento das concentrações atmosféricas de  $\text{CO}_2$  quando elas eram próximas a 310 partes por milhão – ppm, com o decorrer dos anos, ele identificou uma tendência de aumento devido ao aumento da emissão de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis, o desmatamento, e o fato de que o oceano não é capaz de absorver este gás lançado na atmosfera. As emissões de gases de efeito estufa continuam em patamares muito elevados, as concentrações atmosféricas de  $\text{CO}_2$  não param de subir e atualmente, as concentrações estão acima de 405 ppm, quase um terço maiores do que no início das medições iniciais de Keeling.

Considerando a relevância das concentrações de  $\text{CO}_2$  da atmosfera livre e a importância de sua modelagem procurou-se o modelo ARIMA (auto-regressivo integrado de médias móveis), pois trata-se de um modelo univariado com construção a partir de um ciclo iterativo, no qual a escolha da estrutura do modelo é baseada nos próprios dados que descrevem adequadamente processos lineares estacionários, processos lineares não estacionários homogêneos e processos de memória longa, e podem ser generalizados pela inclusão de um operador sazonal SARIMA (auto-regressivo integrado sazonal de médias móveis).

Ressalta-se que o modelo ARIMA (p,d,q) e sua variante sazonal SARIMA (p,d,q) x (P,D,Q) são meios poderosos e úteis para representar modelos de séries temporais e

para inferir previsões sobre os movimentos futuros da variável analisada, sendo esses escolhidos para modelar a variabilidade de concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> em função desta variável apresentar inúmeros fatores incontroláveis relativos ao clima e sazonalidade.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A Metodologia da investigação consiste de revisão bibliográfica, pesquisa exploratória e modelagem via ARINA e SARINA com análise de resíduos da Curva de Keeling.

As características básicas da pesquisa exploratória são indicadas por Gil (2008) que afirma que os objetivos são proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. Pode-se dizer que estas pesquisas têm como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Seu planejamento é, portanto, bastante flexível, de modo que possibilite a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado (GIL, 2008).

O método da investigação consistiu de quatro etapas: (1) Estudo descritivo; (2) Análise e decomposição da série temporal; (3) Construção do modelo SARIMA com identificação, estimação dos parâmetros e análise dos resíduos; e (4) Previsões/simulações de concentração de dióxido de carbono – CO<sub>2</sub>.

Os cálculos foram realizados através do software R (disponível em <http://www.r-project.org/>).

### 2.1 Dados e análise da série temporal

Os dados de concentração de CO<sub>2</sub> em partes por milhão (ppm) na Atmosfera foram do período de 1958 a 2020 e obtidos no site da *Scripps Institution of Oceanography*.

As propriedades observadas em uma série temporal  $X_t$  podem ser captadas assumindo-se a seguinte forma de decomposição:  $X_t = T_t + C_t + \varepsilon_t$ . Sendo que  $T_t$  é uma componente de tendência,  $C_t$  é uma componente cíclica ou sazonal e  $\varepsilon_t$  é uma componente aleatória ou ruído, ou seja, a parte não explicada, que se espera ser puramente aleatória (SHUMWAY & STOFFER, 2006).

### 2.2 Modelos ARIMA e SARIMA

O Modelo de Box-Jenkins ou ARIMA (método autoregressivo integrado de média móvel) é um método paramétrico e estatístico sendo descrito através de parâmetros assim dispostos (p,d,q). O termo p se refere a ordem da autoregressão na série e corresponde a defasagens da série transformada. O termo d se refere-se ao número de diferenciações que visam induzir estacionalidade da série e está associada a palavra integrado. O termo q se refere a média móvel dos resíduos ou as defasagens dos erros aleatórios e visa evitar a propagação dos erros e incertezas (FISCHER, 1982, BOX et al., 2008).

A parte sazonal acima é representada através de mais três parâmetros semelhantes,

sendo assim chamada de SARIMA. O SARIMA é definido por uma parte simples de parâmetros  $(p,d,q)$  e sazonal composta de parâmetros  $(P,D,Q)$  (FISCHER, 1982, BOX et al., 2008).

Para determinar os parâmetros são utilizadas as funções de autocorrelação (ACF) e autocorrelação parcial (PACF). A análise da ACF visa identificar a estacionalidade e definir o termo de médias móveis ( $q$  ou  $Q$ ). A análise da função PACF possibilita identificar a ordem do termo autoregressivo ( $p$  ou  $P$ ) (BOX et al., 2008).

O processo de construção de modelos ARIMA proposto Box-Jenkins está assentado em um ciclo iterativo, composto de três estágios: identificação, estimação e checagem do diagnóstico (FISCHER, 1982, BOX et al., 2008).

A identificação consiste no estabelecimento da ordem  $(p,d,q)$  ou, no caso sazonal,  $(p, d, q) \times (P,D,Q)$ , e deve ser determinada inicialmente. Onde “ $d$ ” são diferenças simples e “ $D$ ”, as diferenças sazonais, em seguida deve - se realizar um processo de checagem do diagnóstico, isto é, de verificação da acurácia do modelo estimado na etapa anterior, com a finalidade de verificar se o modelo matemático está ajustado aos dados através de testes estatísticos. Caso se verifique que um modelo não é adequado, o ciclo será repetido (BOX et al., 2008).

## 3 I REVISÃO E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Revisão teórica

A influência de Charles David Keeling (1928-2005) na Instituição de Oceanografia Scripps é em função das medições sobre a acumulação global de dióxido de carbono na atmosfera. Seus dados prepararam o terreno para as profundas preocupações de hoje sobre as Alterações Climáticas, sendo um dos fatores ambientais mais importantes baseado em conjunto de dados obtidos no século XX (HARRIS, 2010, HOWE, 2015).

Nesse sentido, Zimmermann e Schons (2009) analisaram o efeito estufa via medições de Keeling e identificaram que o aquecimento global é resultante da ação antrópica e considera este o maior problema que a humanidade enfrenta hoje. As consequências decorrentes da emissão do CO<sub>2</sub> e põem em risco as gerações futuras com problemas como escassez de água e poluição.

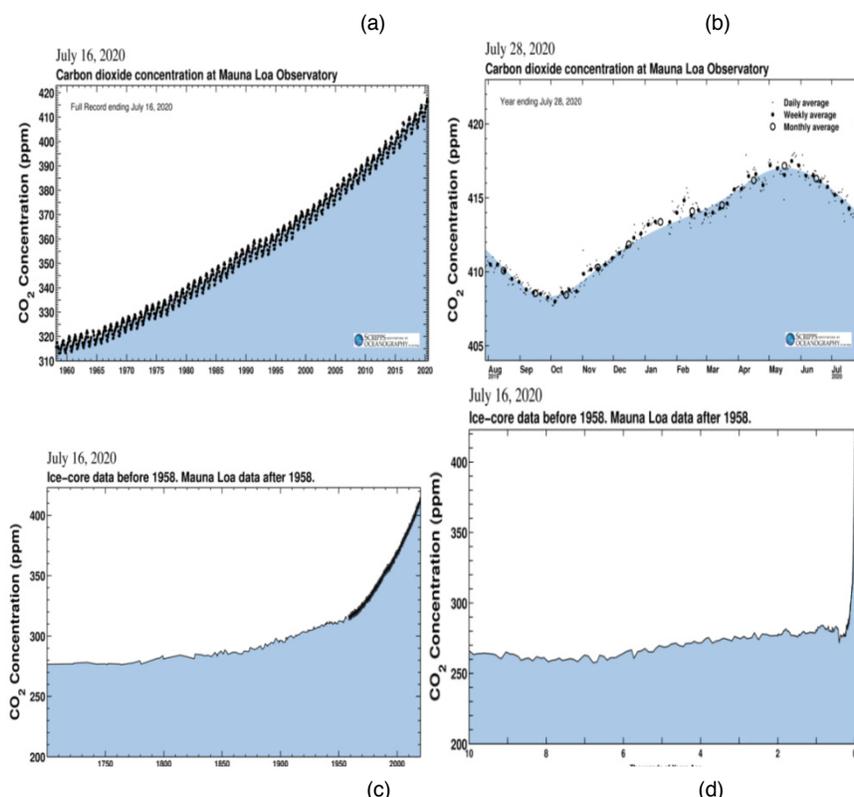
Zimmermann e Schons (2009) propõem uma nova forma de se relacionar com a natureza capaz de reverter às trágicas previsões para o nosso futuro e o das gerações que nos seguirão e apresentam as ideias de Flannery, segundo este autor, na “curva de Keeling” encontra-se o registro do “primeiro sinal definitivo de que o grande oceano aéreo poderia ser o calcanhar-de-aquiles de nossa civilização viciada em combustíveis fósseis” (FLANNERY, 2007, p. 48)

Keeling & Heimann (1986) interpretaram as observações atmosféricas de CO<sub>2</sub>

obtidas durante a Primeira Expedição Global de Geofísica (FGGE) do Havai ao Tahiti Shuttle, de 1979 a 1980 e considerou ciclo de CO<sub>2</sub> atmosférico reveladas pelo componente anual médio. Os dados do FGGE com base em observações de CO<sub>2</sub> em sete estações terrestres e verificou a diferença entre os dois perfis de concentração explicada quase inteiramente à combustão de combustíveis fósseis, que causou 2,7 × 10<sup>15</sup> g a mais de carbono injetado no ar em 1980 em relação ao ano de 1962 aplique a toda a coluna de ar.

Keeling & Heimann (1986) identificaram que o perfil residual mostra uma concentração média mais alta no hemisfério sul do que no norte da ordem de 1 ppm e não pôde ser resolvida devido à falta de informações sobre o caráter de fontes e sumidouros e comportamento de transporte e pode ser devido à troca de CO<sub>2</sub> da biosfera oceânica ou terrestre com o ar ou mesmo ao transporte atmosférico dependente do tempo.

Atualmente o site da Scripps Institution of Oceanography fornece gráficos atualizados diariamente dos níveis de concentração de CO<sub>2</sub> (ppm) na unidade de tempo como mostra a Figura nº 1.



a) 1958 a 2020 b) último ano c) Do ano de 1750 até o presente d) 10 mil anos atrás até o presente.

Figura 1- Curva de Keeling- níveis de concentração de CO<sub>2</sub> na Atmosfera (ppm)

Fonte: <https://scripps.ucsd.edu/programs/keelingcurve/>

## 3.2 Modelos de séries temporais

Os modelos para séries temporais são convenientes porque permitem que as características do futuro, ainda não observado, possam ser inferidas a partir dos dados observados e disponíveis. Isto representa que características de uma série temporal podem ser resumidas pelos parâmetros de um modelo (CRYER e CHAN, 2008, MORETTIN e TOLOI, 2018).

A análise de um modelo de séries de tempo busca obter as características comportamentais sistemáticas da série, capazes de propiciar a construção de um modelo que descreva os movimentos passados de uma variável e possa prever os futuros movimentos da mesma (WILKS, 2006, MORETTIN e TOLOI, 2018).

Os objetivos da análise de séries temporais (MORETTIN e TOLOI, 2018) são: (a) Descrição: Faz-se o estudo descritivo de suas características e a construção de um gráfico permite analisar como o fenômeno evolui no tempo; (b) Explicação: obtendo-se um conjunto de observações em duas ou mais variáveis, pode ser possível explicar o comportamento de uma função a partir das demais; (c) Previsão: visa a previsão do comportamento futuro da variável; (d) Controle: Ao se mensurar a qualidade por meio da série temporal pode-se procurar realizar o controle do processo gerador.

Os modelos para séries temporais podem ser classificados em duas classes, segundo o número de parâmetros envolvidos: Modelos paramétricos, nos quais este número de parâmetros é finito; e Modelos não paramétricos, que envolvem um número infinito de parâmetros (MORETTIN E TOLOI, 2018).

Nos modelos paramétricos, a análise é feita no domínio do tempo. Dentre estes modelos os mais usados são os modelos de regressão (ou de erro), os modelos auto-regressivos e médias móveis (ARMA) e os modelos auto-regressivos-integrados-médias móveis (ARIMA) (WILKS, 2006; MORETTIN E TOLOI, 2018).

### 3.2.1 Métodos de previsão de séries temporais

Métodos de séries de tempo são adequados quando a ordenação dos valores de dados em tempo é importante para uma dada aplicação (WILKS, 2006). Trata-se da previsão a aplicação neste estudo.

Os métodos de previsão de séries temporais são classificados como métodos quantitativos e baseiam suas previsões na extrapolação de características de observações passadas e no inter-relacionamento entre essas observações, fornecendo previsões acuradas se o futuro apresentar comportamento similar ao passado, assim se baseia na suposição de que observações passadas contêm todas as informações sobre o padrão de comportamento da série temporal e esse padrão é recorrente no tempo (SHUMWAY & STOFFER, 2006; MORETTIN E TOLOI, 2018).

O propósito dos métodos de previsão consiste em distinguir o padrão de qualquer

ruído que possa estar contido nas observações e então usar esse padrão para prever os valores futuros da série temporal. Assim, pela identificação desse componente, a previsão para períodos de tempo subsequentes ao observado pode ser desenvolvida.

Classificam-se os métodos de previsão em univariados, funções de transferência e multivariados (WILKS, 2006; SHUMWAY & STOFFER, 2006; MORETTIN E TOLOI, 2018).

Os métodos univariados consideram somente uma única série para a realização dos prognósticos. As previsões decorrentes da aplicação destes métodos podem estar relacionadas somente com as informações contidas na série histórica da variável em estudo. São métodos baseados na Estatística Clássica, entretanto podem também ser baseados na Estatística Bayesiana, como é o caso dos Modelos Lineares Dinâmicos ou state space models.

O método de funções de transferência consiste em explicar a série de interesse pelo seu passado histórico e por outras séries temporais não-correlatas entre si. Esta classe de métodos de previsão envolve, portanto, mais de uma série temporal, sendo que a relação de causalidade entre estas séries é perfeitamente conhecida. Como exemplo têm-se os modelos de Regressão Dinâmica.

Os métodos multivariados abrangem os procedimentos de previsão que associam mais de uma série temporal na efetivação de prognósticos sem, no entanto, qualquer imposição com relação à causalidade entre essas séries. Para Wilks (2006) os métodos podem ser resumidos em Univariados e Multivariados. Este último contém o método de funções de transferência.

A seleção do método de previsão adequado depende de vários fatores, tais como o comportamento do fenômeno observável ou o conhecimento a priori que se tenha sobre a sua natureza e do objetivo da análise (MORETTIN E TOLOI, 2018).

### 3.2.2 Modelos univariados de previsão

Os métodos assim classificados obtêm a previsão de algum valor futuro da série temporal pela combinação dos valores reais passados e/ou dos erros ocorridos. Nos modelos Autoregressivo (AR), Médias Móveis (MA) e o modelo Autoregressivo e de Médias Móveis (ARMA) a série temporal deve ser estacionária e o modelo auto-regressivo integrado de média móvel (ARIMA) torna a série estacionária para fazer a previsão (WILKS, 2006; SHUMWAY & STOFFER, 2006; MORETTIN E TOLOI, 2018). Os modelos são descritos a seguir.

### 3.2.3 Modelo autoregressivo

A especificação de um modelo Autoregressivo (AR) é dada pela equação (3.1)

$$x_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3.1)$$

em que  $x_t$  corresponde à observação da série temporal no tempo  $t$ ;  $\phi_p$  corresponde ao parâmetro do modelo AR de ordem  $p$  e  $\varepsilon_t$  representa o erro de eventos aleatórios que não podem ser explicados pelo modelo (WILKS, 2006; SHUMWAY & STOFFER, 2006).

### 3.2.4 Modelo de médias móveis

Um modelo de Médias Móveis (MA) é definido conforme equação (3.2):

$$x_t = \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (3.2)$$

onde  $\varepsilon_t$  representa o erro de eventos aleatórios que não podem ser explicados pelo modelo e  $\theta_q$  corresponde ao parâmetro do modelo MA de ordem  $q$ .

Caso as observações da série temporal possam ser representadas pelas equações acima, será determinada a ordem do modelo e seus parâmetros serão estimados, sendo possível prever o valor futuro da série em análise (SHUMWAY & STOFFER, 2006).

### 3.2.5 Modelo autoregressivo e médias móveis

Define-se o modelo misto Autoregressivo e de Médias Móveis (ARMA) através da equação (3.3), como sendo a combinação dos modelos AR e MA.

$$x_t = \phi_1 x_{t-1} + \phi_2 x_{t-2} + \dots + \phi_p x_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (3.3)$$

Na equação (3.3) é possível verificar que os modelos ARMA relacionam os valores futuros com as observações passadas, assim como também com os erros passados apurados entre os valores reais e os previstos (WILKS, 2006; SHUMWAY & STOFFER, 2006).

### 3.2.6 Modelo arima

ARIMA é o nome dado a um modelo univariado bastante utilizado na modelagem e previsões de séries temporais. O termo deriva do inglês *autoregressive integrated moving average*, que significa modelo auto-regressivo integrado de média móvel. George Box e Gwilym Jenkins sistematizaram o modelo na década de 1970, sendo assim também chamado de Modelo de Box-Jenkins (BOX et al., 2008; WILKS, 2006).

Genericamente, um processo ARIMA ( $p, d, q$ ) pode ser representado pela equação (3.4)

$$w_t = \phi_1 w_{t-1} + \dots + \phi_p w_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (3.4)$$

Em que  $w_t = x_t - x_{t-d}$  e  $\phi_p$  e  $\theta_q$  são os parâmetros dos processos Autoregressivo e de Média Móvel de ordem  $p$  e  $q$  (ARMA ( $p, q$ ));  $\varepsilon_t$  corresponde ao erro de eventos aleatórios que não podem ser explicados pelo modelo e  $d$  equivale ao grau de homogeneidade não estacionária (BOX et al., 2008; WILKS, 2006).

O objetivo é determinar os valores de  $p$ ,  $d$  e  $q$  do modelo ARIMA ( $p,d,q$ ) Inicialmente, a série temporal é diferenciada para se obter uma série estacionária. Tornando-se o processo um modelo ARMA ( $p, q$ ), sendo que o próximo passo consiste de identificar a ordem do processo ARMA pela análise dos coeficientes de autocorrelação e autocorrelação parcial. Nesta etapa são efetuadas estimativas preliminares dos parâmetros do modelo identificado (BOX et al. 2008; WILKS, 2006).

Após a identificação do modelo que seja uma representação adequada do mecanismo gerador da série, a estimação dos parâmetros desse modelo é efetuada. Os parâmetros do processo AR são estimados através de métodos de regressão; caso o processo MA esteja envolvido, a estimação dos parâmetros deste modelo é obtida pela aplicação de algum algoritmo de otimização não-linear (BOX et al., 2008).

O modelo ARIMA pode descrever a parte sazonal através de mais três parâmetros semelhantes, sendo assim chamada de SARIMA (auto-regressivo integrado sazonal de médias móveis). O SARIMA é definido por uma parte simples de parâmetros ( $p,d,q$ ) e sazonal composta de parâmetros ( $P,D,Q$ ) (BOX et al., 2008).

### 3.2.7 Análise dos resíduos

A Análise dos resíduos do Modelo é fundamental para validar o modelo. Recordar-se que o  $i$ -ésimo resíduo  $d_i$  é a diferença entre o valor observado  $y_i$  e o valor estimado  $\hat{y}_i = \hat{\mu} / x_i$  dado pela equação do modelo estimada e deve-se assumir que os erros satisfazem os seguintes pressupostos: seguem uma distribuição normal, têm média zero, têm variância  $\sigma^2$  constante (homocedasticidade) e são independentes (MATOS, 1995).

A verificação das hipóteses acima é fundamental, visto que toda a inferência estatística no modelo (testes de hipóteses) se baseia nesses pressupostos. Nesse sentido, se houver violação dos mesmos, o modelo não é o recomendando para aplicações (MATOS, 1995).

A análise dos resíduos pode realizada através dos testes: Box-Pierce, Shapiro-Wilk e Breusch-Pagan.

O teste Shapiro-Wilk deve ter  $p$ -valor  $> 5\%$  para que os erros estejam normalizados (ROYSTON, 1995).

O teste Breusch-Pagan é utilizado para identificar se os erros são homocedásticos (variância constante) ou heterocedásticos. O  $p$ -valor  $> 5\%$  confirma a hipótese de homocedasticidade dos resíduos (BREUSCH, 1979).

O teste de Box-Pierce (and Ljung-Box) verifica a independência de resíduos. A hipótese principal ( $H_0$ ) é que existe independência, ou seja, não existe auto correlação dos erros eo coeficiente de auto correlação de primeira ordem dos resíduos é zero (valor- $p = 0$ ). A hipótese alternativa ( $H_1$ ) é que exista dependência (valor  $p \neq 0$ ). Assim,  $p$ -valor  $> 5\%$  deve-se considerar a independência de resíduos (BOX, G. E. P. and PIERCE, D. A., 1970).

Finalizando, a Análise de Resíduos da modelagem verifica os pressupostos associados aos erros, sendo que estes devem ser variáveis aleatórias de média zero e variância constante ( $\sigma^2$ ) - hipótese de homocedasticidade, além disso os erros devem ser independentes e seguir uma distribuição normal:  $\varepsilon_1 \sim N(0, \sigma^2)$ .

## 4 | RESULTADOS

### 4.1 Etapa 1-estudo descritivo

A Estatística descritiva dos dados mensais de concentração de  $\text{CO}_2$  na Atmosfera em ppm teve para o do período de 1958 a 2020 uma média atual de 355,6 ppm e desvio padrão de 29,2 ppm. A média do período é superior em 13,2% ao início das medições em 1958, com 314 ppm, sendo que a última medida mensal foi 413.8 ppm, ou seja, 16,4% superior a média do período de 1958 a 2020.

### 4.2 Etapa 2- análise da série temporal

A série temporal de  $\text{CO}_2$  em ppm foi decomposta e apresentada na Figura 2. O primeiro gráfico mostra as observações (dados mensais) da concentração de  $\text{CO}_2$  em ppm. O gráfico seguinte mostra a componente da tendência (Trend) utilizando uma média móvel. O terceiro gráfico demonstra a sazonalidade (Seasonal) da série, calculada pela média, para cada unidade de tempo em todos os períodos e o último gráfico apresenta a parte residual (Remainder) através da remoção de tendência e componente sazonal a partir da série de tempo original.

Neste próximo passo, determinam-se os valores de FAC, com o objetivo de identificar se a série utilizada é estacionária mediante ao gráfico abaixo da Figura 3. Pela análise do gráfico verifica-se a não estacionariedade da série e presença sazonal. Fato este também verificado na ACF, sendo assim é necessário realizar ao processo de diferenciar a série original para torná-la estacionária.

A Função de autocorrelação (ACF) apresentada na Figura 3 é utilizada para determinar se a série é estacionária. O gráfico da ACF e de seu intervalo de confiança deve apresentar um decréscimo acentuado nos seus primeiros valores para a série ser estacionária e  $d = 0$ . Se o decréscimo for suave até atingir zero, significa que não é estacionária e terá o valor do termo  $d$  determinado pelo número de diferenciação. Assim, a FAC verifica a ciclicidade ou sazonalidade quando ao sinal e que possui valores menores que o intervalo de confiança sendo muito próximo a zero, verificando a necessidade de diferencia-la para induzir a mesma a estacionariedade.

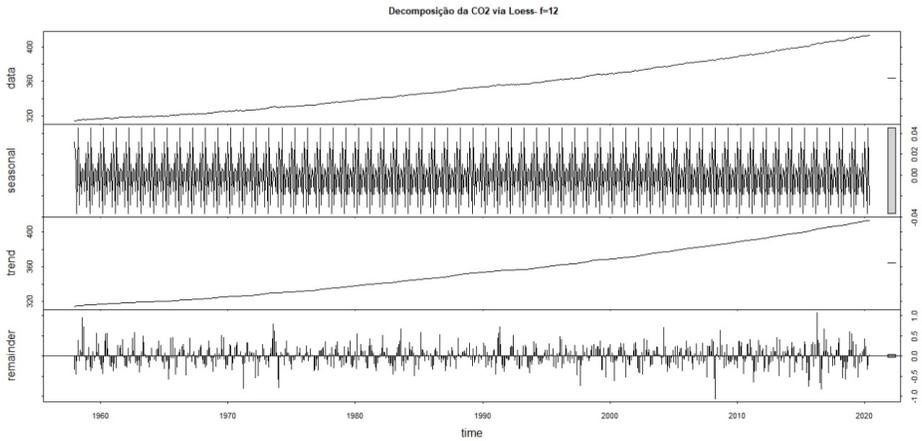


Figura 2 – Estudo de tendência e sazonalidade da concentração de CO<sub>2</sub> em ppm

Fonte: Elaboração própria via Software R

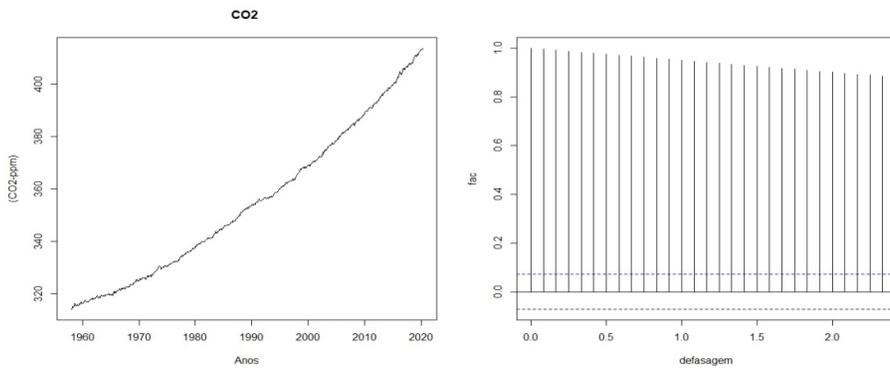


Figura 2 – Estudo da estacionariedade da série temporal da concentração de CO<sub>2</sub> em ppm

Fonte: Elaboração própria via Software R

### 4.3 Etapa 3- identificação e estimação dos parâmetros e análise dos resíduos do modelo sarima

A FAC ou ACF (função de autocorrelação) de diferenciação igual a 1 (lag 1) permite induzir a estacionariedade e retirar a sazonalidade através de uma diferenciação.

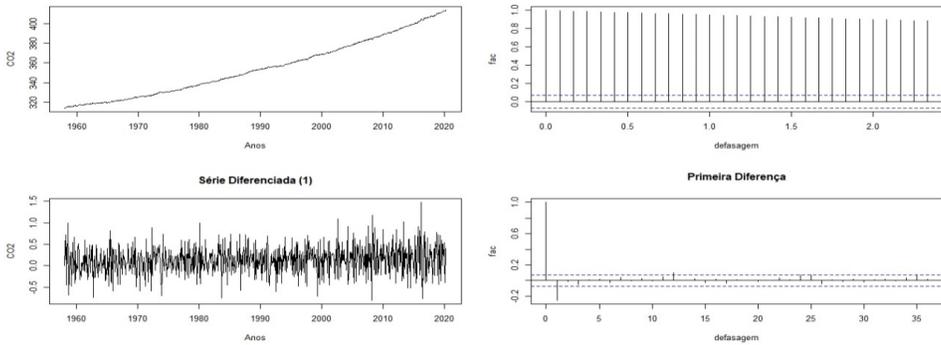


Figura 5 – Os gráficos de FAC e 1ª diferenciação da série temporal de CO<sub>2</sub>

Fonte: Elaboração própria via Software R

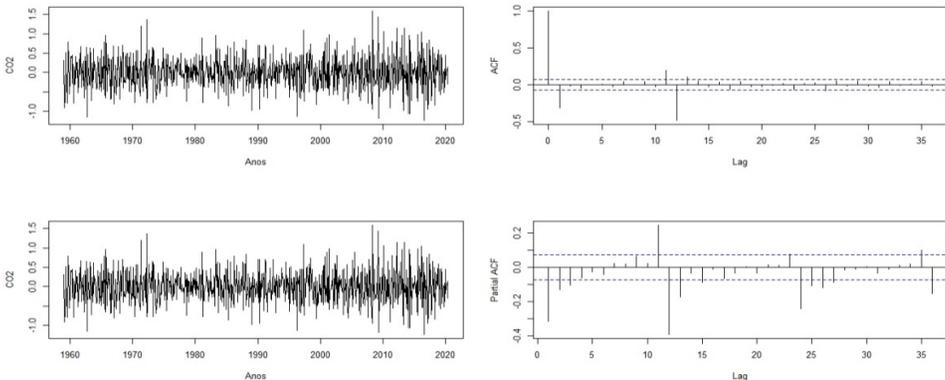


Figura 6 – Os gráficos de FAC e 1ª diferenciação simples e 1ª diferenciação sazonal para ACF e PACF da série temporal de CO<sub>2</sub>

Fonte: Elaboração própria via Software R

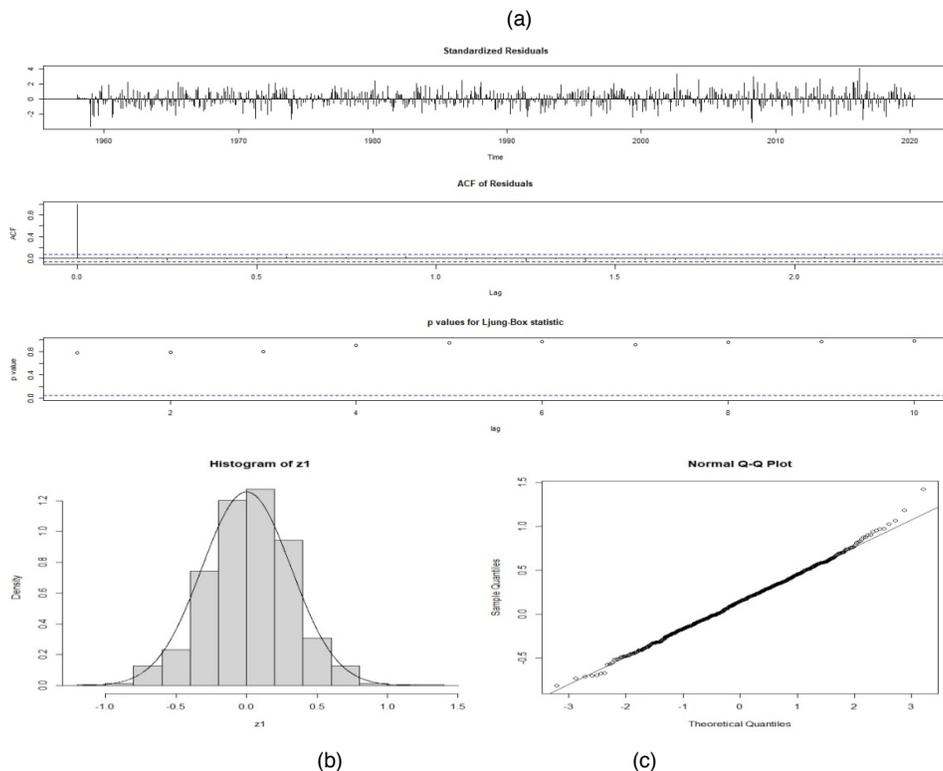
A série se tornou estacionária após a 1ª diferenciação simples e sazonal. Fato verificado pela ACF, em seguida realizou-se a estimação dos parâmetros (p,q, P, Q).

Dentre os vários modelos testados, optou-se pelo modelo SARIMA (1,1,1) x (1,1,1)<sub>12</sub>, pois proporcionou um ajuste adequado aos dados, cuja equação ( 3.5) é:

$$x_t = 0,1990 x_{t-1} + 0,0132x_{t-12} - 0,5591e_{t-1} - 0,8834 e_{t-12} + e_t \quad (3.5)$$

A análise dos resíduos constatou a sua normalidade através do Teste Shapiro-Wilk (p-valor= 0,14), sua independência verificada pelo teste Box-Pierce (p-valor= 0,78) e os gráficos da ACF e PACF que indicaram que os resíduos estão dentro do intervalo de confiança de 95%, verificando-se a existência do ruído branco como mostra o diagnóstico

apresentado na Figura 7



(a) Diagnóstico do software R via ACF e Ljung-Box (b) (c) Análise da Normalização dos resíduos

Figura 7 – Análise dos resíduos do modelo SARIMA  $(1,1,1) \times (1,1,1)_{12}$  da série temporal da concentração de  $\text{CO}_2$

#### 4.4 Etapa 5- previsões/simulações de concentração de $\text{CO}_2$ na atmosfera via modelo sarima

O modelo SARIMA  $(1,1,1) \times (1,1,1)_{12}$  possibilitou a previsão da variabilidade da concentração de  $\text{CO}_2$  em 10 anos ou 120 passos (meses), a partir do final da observação do ano 2020 no mês de maio. A Figura 8 retrata esta previsão e inclui o Modelo ARIMA para efeitos de comparação. É possível identificar a sazonalidade nos dados previstos no modelo SARIMA e a elevação no seu nível de concentração de  $\text{CO}_2$ . Consta-se que devido ao erro, o intervalo de confiança de 95% aumenta pra previsões mais distantes.

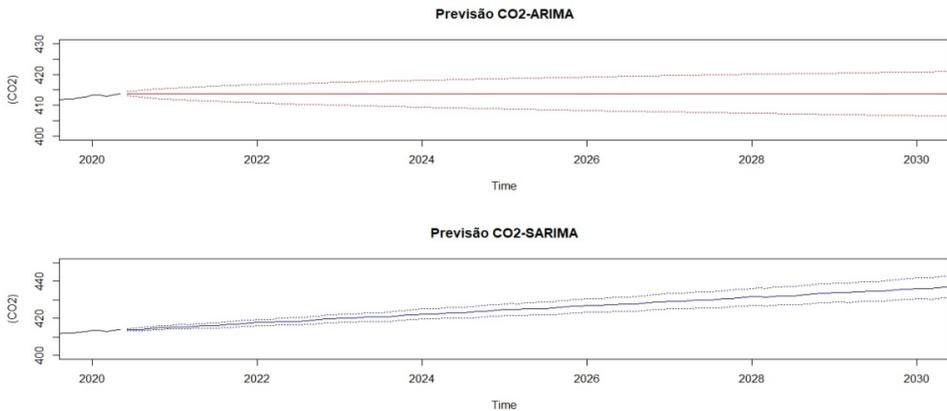


Figura 8 – Observações de concentração de CO<sub>2</sub> e os resultados da previsão para 120 meses via modelo ARIMA e SARIMA

A validade do modelo também foi analisado pelo Critério de Informação de Akaike (AIC). O AIC é uma medida geral da qualidade de ajustamento de modelos utilizado para comparação. Um modelo para a variável resposta Y é considerado melhor que outro se tiver um AIC mais baixo.

Para efeito de comparação o modelo ARIMA (1,1,1) da série estudada teve AIC igual a 546,6 e o SARIMA (1,1,1) x (1,1,1)<sub>12</sub> teve valor igual a 363,32

A Estatística descritiva dos dados mensais de concentração de CO<sub>2</sub> na Atmosfera em ppm teve para o do período de 1958 a 2020 uma média atual de 355,6 ppm e desvio padrão de 29,2 ppm. A média do período é superior em 13,2% ao início das medições em 1958, com 314 ppm, sendo que a última medida mensal foi 413.8 ppm, ou seja, 16,4% superior a média do período de 1958 a 2020.

## 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Lembrando que o modelo Box-Jenkins descreve adequadamente processos lineares estacionários, lineares não estacionários homogêneos e de memória longa, e podem ser generalizados pela inclusão de um operador sazonal (SARIMA). Encontrar um modelo estocástico linear por meio da determinação dos valores de p, d e q do modelo ARIMA (p,d,q) ou SARIMA (p,d,q) (P,D,Q).

Para tornar a série original do estudo estacionária fez-se uma diferenciação simples e sazonal e foram necessários um termo autoregressivo simples (p), um termo média móvel simples (q), um termo autoregressivo sazonais (P) e um termo de médias móveis sazonais (Q), para que os resíduos se tornassem normalizados, obtendo-se um modelo SARIMA (1,1,1) x (1,1,1)<sub>12</sub>, como descrito na equação nº 3.5, adequado para previsão.

Nas previsões/simulações de concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera via modelo SARIMA foi possível identificar, apesar da sazonalidade nos dados, que haverá a continuidade da elevação nos níveis de concentração de CO<sub>2</sub>. Sem considerar o intervalo de confiança de 95%, em 2030, os valores estarão próximo a 438 ppm de CO<sub>2</sub> na Atmosfera, ou seja, valor superior em 39% ao início das medições em 1958, com 314 ppm e superior em 5,7% a última medida mensal da série (414 ppm). Esses números indicam um crescimento da concentração do gás de efeito estufa na atmosfera.

A elevação da concentração de CO<sub>2</sub> representa o aumento do aquecimento global, sendo necessário o uso de energias renováveis, como a eólica e solar, em substituição aos combustíveis a fim de reverter esse crescimento.

## REFERÊNCIAS

BOX, G. P.; JENKINS, G.M.; REINSEL, G, C. **Time Series Analysis Forecasting and Control**. 4 ed. WILEY, USA, 2008.

CHANGE, ON CLIMATE et al. Intergovernmental panel on climate change. **World Meteorological Organization**, 2007.

CRYER, J.D.; CHAN, K.S. **Time Series Analysis**. New York: Springer, 2008.

ENGLE, R. F. **Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation**. *Econometrica* 50, No 4, pp. 987-1007, July, 1982.

FISCHER, S. **Séries univariantes de tempo – metodologia de Box & Jenkins**. Porto Alegre FEE, 1982.

FLANNERY, Tim. Os senhores do clima. Rio de Janeiro: Record, 2007.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

KEELING, C. D., & HEIMANN, M. (1986). Meridional eddy diffusion model of the transport of atmospheric carbon dioxide: 2. Mean annual carbon cycle. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 91(D7), 7782-7796.

HORTON, N.J., KLEINMAN. K. **Using R for data management, statistical analysis, and graphics** / Nick Horton, Ken. CRC Press, EUA, 2011.

HARRIS, Daniel C. Charles David Keeling and the story of atmospheric CO2 measurements. 2010.

HOWE, Joshua P. This is nature; this is un-nature: Reading the keeling curve. *Environmental History*, v. 20, n. 2, p. 286-293, 2015.

LU, X. A Time Series Correlation Analysis Using the Keeling Curve as an Alternative Evaluation Method for Carbon Emission Modeling, 2017. *The Equilibrium*, 3(1).

MATOS, Manuel António. Manual operacional para a regressão linear. **Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**, p. 63, 1995.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. **Previsão de Séries Temporais**. Atual, São Paulo: 1985.

MORETTIN, Pedro A.; TOLOI, Clélia MC. Análise de séries temporais: modelos lineares univariados. Editora Blucher, 2018.

SHUMWAY, R.H. STOFFER, D. S. **Time series analysis and its applications**: New York: Springer, 2006.

WILKS, S. D. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences**. Academic Press, San Diego, 2ª ed, 2006.

WILLMOTT, C.J. et al. **Statistics for the evaluation and comparison of models**. *Journal of Geophysical Research*, v.90, p.8995-9005, 1985.

ROYSTON, P. Remark AS R94: A remark on Algorithm AS 181: The *W* test for normality. *Applied Statistics*, **44**, 547–551.1995; doi: 10.2307/2986146.

ZIMMERMANN, Roque; SCHONS, Selma Maria. Aquecimento global e impacto nas águas. 2009.

## DINÂMICA SEDIMENTAR DO RIO PARAGUAI NA ILHA LARANJEIRA, PANTANAL SUL- MATOGROSSENSE

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 05/02/2021

### Hudson de Azevedo Macedo

Secretaria Municipal de Educação de São  
Carlos (SME)  
São Carlos – SP  
<http://lattes.cnpq.br/6353067821826142>  
<https://orcid.org/0000-0003-1104-7106>

### José Cândido Stevaux

Universidade Estadual de Maringá (UEM),  
Programa de Pós-graduação em Geografia  
Campus e Três Lagoas - MS  
Maringá - PR  
<http://lattes.cnpq.br/6786064255704972>

### Aguinaldo Silva

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
(UFMS)  
Corumbá – MS  
<http://lattes.cnpq.br/3911884440040608>  
<https://orcid.org/0000-0002-0630-9768>

**RESUMO:** Neste trabalho, realizamos um estudo preliminar da morfodinâmica do rio Paraguai em um trecho multicanal (*anabranching*) criado por processos deposicionais intracanal nas planícies fluviais que compõem o sistema tronco do Pantanal. O objetivo principal é realizar o balanço hidrossedimentar deste trecho, a fim de compreender os processos erosivos e deposicionais que ocorrem no canal no contexto de um rio *anabranching*. Assim, os levantamentos e análises realizados mostraram que o rio

Paraguai possui morfodinâmica que muda de acordo com o período hidrológico (cheia e seca). A configuração morfológica do rio Paraguai na Ilha Laranjeira provoca uma divisão do fluxo que leva a maiores taxas de sedimentação no canal direito do rio, o que conduziria à anexação da ilha à planície na margem direita do rio. Embora a composição da carga de fundo do rio Paraguai na Ilha Laranjeira não mude de forma geral, a redução da velocidade do fluxo durante a estação seca causa menor competência do rio, que deposita sedimentos mais grossos no canal antes da bifurcação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hidrossedimentologia, Pantanal, rio anabranching.

### SEDIMENTARY DYNAMICS OF THE PARAGUAY RIVER IN THE LARANJEIRA ISLAND, PANTANAL SUL- MATOGROSSENSE

**ABSTRACT:** In this work, we performed a preliminary study of the morphodynamics of the Paraguay River in a multichannel reach (*anabranching*) created by intrachannel depositional processes within the fluvial plains that compose the Pantanal trunk system. The main objective is to perform the hydrosedimentary balance of this stretch, in order to understand the erosive and depositional processes that occur in the channel in the context of *anabranching* river. Thus, the surveys and analyzes performed showed that the Paraguay River has morphodynamics that changes according to the hydrological period (flood and drought). The morphological configuration of the Paraguay River on Laranjeira Island causes a division in the

flow that leads to higher sedimentary rates in the right channel of the river, which would lead to the annexation of the island to the plain on the right bank of the river. Although the composition of the bottom load of the Paraguay River on Laranjeira Island does not change generally, the reduction of flow velocity during the dry season causes less river competence, which deposits thicker sediment in the channel before the bifurcation.

**KEYWORDS:** Hydrosedimentology, Pantanal, anabranching river.

## 1 | INTRODUÇÃO

O arranjo espacial de canal formam quatro padrões topológicos: reto, sinuoso, entrelaçado e anastomosado (MIALL, 1977; LEOPOLD et al., 1995). Este último também denominado de padrão anabranching (NANSON e KNIGHTON, 1996; NANSON e GIBLING, 2004; CARLING et al., 2014).

Os rios anabranching constituem canais múltiplos devido às várias ilhas que bifurcam o canal principal. Esse padrão ocorre em vários contextos geográficos, independentemente do clima e da geologia da bacia hidrográfica. Embora o sistema anabranching seja o padrão dominante nos maiores rios do mundo (JANSEN e NANSON, 2004; LATRUBESSE, 2008), sua complexidade de formação e evolução exige amplo esforço de pesquisa, especialmente no que diz respeito à hidráulica e hidrosedimentologia. Até recentemente, em vez de pesquisas morfodinâmicas, a maioria dos estudos preocupava-se com a comparação entre vazão de água, tamanho da bacia e padrão de canal (LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005; LATRUBESSE, 2008; CONWAY; MAHÉ, 2009; LATRUBESSE et al., 2009; ASHWORTH; LEWIN, 2012; SINHA et al., 2012; CARLING et al., 2014; REESINK et al., 2014; LATRUBESSE, 2015). No rio Paraguai, no entanto, estudos morfodinâmicos têm avançado no entendimento da multicanalização em sistemas anabranching (MACEDO, 2017; MACEDO et al., 2019).

A multicanalização no rio Paraguai pode ser considerada incipiente se comparada com as dos rios Paraná (LELI, 2015; LELI et al., 2020; NICHOLAS et al., 2012, 2013; REESINK et al., 2014), Negro (LATRUBESSE; STEVAUX, 2015) e Solimões (LATRUBESSE, 2008; LATRUBESSE; FRANZINELLI, 2005), na bacia amazônica, notavelmente devido ao maior número de ilhas fluviais desses últimos. No entanto, a multicanalização contínua do rio Paraguai possui uma hidrosedimentologia peculiar (MACEDO, 2017; MACEDO et al., 2019) o que atrai a atenção para pesquisas de campo. Portanto, este artigo lança novas luzes sobre os estudos morfodinâmicos da planície fluvial Corumbá (ASSINE et al., 2015a) e pode apoiar novas estratégias para o desenvolvimento de simulação numérica computacional útil da hidro e morfodinâmica do rio Paraguai, como os semelhantes aos desenvolvidos para o rio Paraná (por exemplo, NICHOLAS et al., 2012).

### 1.1 Descrição da área estudada

Este estudo foi realizado na Ilha Laranjeira (Fig.1), localizada no canal do rio

Paraguai, na planície Corumbá (ASSINE et al., 2015a, b; STEVAUX et al., 2020). Este trecho do rio Paraguai faz parte de um dos subsistemas do trato deposicional do Pantanal (planície fluvial do Paraguai) descrito anteriormente por ASSINE et al (2015a). A planície Corumbá está localizada no centro do trato deposicional, cobrindo terras no município de Corumbá-MS, Brasil (ASSINE et al., 2015a). Essa planície é a maior do sistema tronco, com aproximadamente 27 km de largura média e 113 km de comprimento (~ 3.000 km<sup>2</sup>) e aproximadamente 80% da água drenada pelo Pantanal passa por essa planície.

A ilha Laranjeira está localizada a 110 km a montante do porto da cidade de Corumbá-MS. Essa ilha tem formato ocelar ou elíptico, com o eixo maior medindo aproximadamente 1.767 metros e o eixo menor medindo 470 metros. Seu perímetro mede cerca de 3.760 metros e sua área é de ~ 0,55 km<sup>2</sup>. Suas características morfológicas revelam uma típica ilha de barra central composta (LELI, 2015; LELI et al., 2020) formada pelo acúmulo de depósitos de barra no meio do canal. As marcas de crescimento dessa ilha indicam que ela foi formada a partir de uma ilha central localizada mais ou menos no centro do canal e que esse núcleo cresceu lateralmente (eixo menor) e longitudinalmente (eixo principal). No entanto, datações por meio do método LOE/SAR revelaram que a margem esquerda da ilha é pelo menos 370 anos mais antiga que a margem direita (MACEDO, 2017).



Figura 1 - Mapa de localização do trecho multicanal estudado, na Ilha Laranjeira.

Os depósitos que formam esta ilha são compostos de areia fina a muito fina na base e lama na parte superior (MACEDO, 2017). A idade desses depósitos mostra que essa morfologia foi formada entre 1000 e 800 anos AP, com uma taxa de deposição de 1,7 mm/

ano na margem esquerda e de 0,9 mm/ano na margem direita.

Antes de se bifurcar, o rio Paraguai tem uma largura de 225 metros. Na ponta a montante da ilha, a largura do canal sobe para 620 metros. No centro da ilha, a largura total do canal (adicionando a largura da ilha) é de 880 metros. No extremo a jusante da ilha, a largura diminui para 430 metros, diminuindo para 325 metros quando o rio retorna a canal único, a 200 metros a jusante da cabeceira a jusante da ilha (Fig. 2).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizadas 4 seções no trecho selecionado para aquisição de dados hidráulicos (perfil transversal, velocidade e direção do fluxo) usando o Perfilador de Corrente Doppler Acústico (RiverRay™ ADCP). Nas mesmas seções foram coletada uma amostra em cada braço do canal e duas amostras (a montante e a jusante da ilha) de material do leito e de água para análise da concentração de sedimentos em suspensão e dissolvidos. As amostras de sedimentos suspensos e dissolvidos foram coletadas no período de água baixa (novembro de 2015) usando um amostrador vertical contínuo para amostragem de toda a coluna de água. Na estação das cheias (agosto de 2014), as águas do rio foram amostradas a uma profundidade máxima de 20 cm. Amostras da carga de fundo foram coletadas usando um amostrador de mandíbulas Van Veen. A quantificação das concentrações de sedimentos em suspensão foi realizada por espectrofotometria (Hach DR2800™). A concentração de sedimentos dissolvidos foi estimada indiretamente por meio das medições da condutividade elétrica da água com uma sonda YSI 556 MS™. A granulometria de carga de fundo foi determinada por método de peneiramento.

Um levantamento batimétrico do trecho foi realizado com uma ecossonda Furuno™. Seções transversais espaçadas a aproximadamente 100 metros foram levantadas no período de cheia (agosto de 2014). Os dados georreferenciados coletados foram transferidos para um Sistema de Informações Geográficas (SIG - ESRI, 2010) e interpolados pelo método de Rede Irregular Triangular (TIN) de Delaunay, que gerou o mapa batimétrico do trecho (Fig. 2).

Os cálculos das descargas sólidas foram feitos com base nos parâmetros hidráulicos (largura, perímetro úmido, vazão e velocidade do fluxo) e parâmetros sedimentológicos (concentração do sedimento e tamanho do grão). As descargas de carga suspensa e dissolvida foram calculadas multiplicando a vazão pela respectiva concentração de sedimentos em unidades adequadas. A descarga da carga do material de fundo foi calculada pelo método de Van Rijn (MACEDO et al., 2017).

Os cálculos do balanço sedimentar e da transferência de água foram realizados subtraindo as descargas líquidas e sólidas da seção a montante pela jusante. Para descarga líquida, caso o resultado dessa subtração for menor ou igual a zero, significa que não houve transferência de água para a planície. Caso contrário, significa que houve transferência e o

valor dessa subtração corresponde à quantidade de água transferida. Com a concentração de sedimentos e a água transferida, o sedimento (suspenso e dissolvido) transferido para planície e para a ilha foram calculados. O mesmo procedimento foi utilizado para cálculos de descarga sólida de fundo.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

O levantamento batimétrico na estação das cheias (cota de 502 cm na estação Ladário) mostrou que este trecho do rio Paraguai tem uma profundidade média e máxima de 6,30 m e 15,60 m, respectivamente (Fig. 2). Na estação seca, esses valores correspondem, respectivamente, a 4,17 m e 13,47 m. O canal esquerdo é mais profundo, com o talvegue do rio na margem esquerda. Depois da ilha, o talvegue do rio atinge profundidades de quase 16 m. Nesta área, o talvegue permanece associado ao canal esquerdo (Fig. 2), que apresenta as maiores velocidades médias de fluxo (Tab. 1). Os dados batimétricos também revelam que o local de deposição preferencial desse trecho ocorre a montante da ilha, no ramo direito do canal (Fig. 2). Esta localização possui as menores profundidades e o mapa batimétrico mostra depósitos formados na cabeça da ilha.

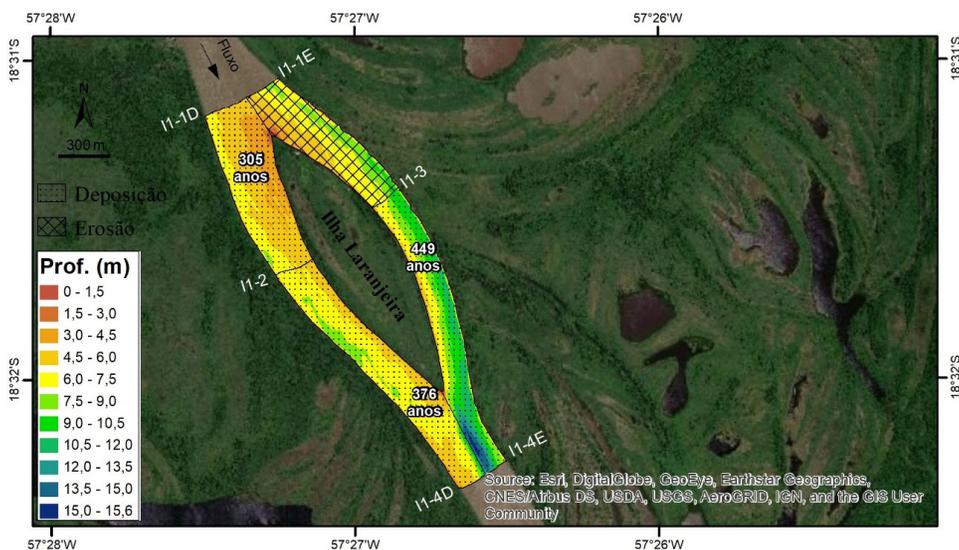


Figura 2 - Localização das seções ADCP e batimetria do rio Paraguai na Ilha Laranjeira. Imagem Basemap do ArcGIS online. Idades representam o tempo para o preenchimento do trecho.

O balanço hidrossedimentológico do trecho superior da ilha, entre as seções I1-1 e I1-2 e I1-3 (Fig. 2), indica para o período de cheia que 33,718 m<sup>3</sup>/s de água são transferidos para a planície de inundação e para a ilha, correspondendo a uma transferência média

de 250,072 t/ano de sedimentos em suspensão. Essa estimativa é baseada em uma concentração média de 1,48 mg/L e 58 dias/ano, em média, em que o rio está acima de suas margens (MACEDO, 2017). Para o trecho inferior da ilha, entre as seções I1-2 e I1-3 e a seção I1-4 (Fig. 2), os mesmos cálculos mostraram que 47,946 m<sup>3</sup>/s de água são transportados para a planície de inundação e para a ilha na estação das cheias. Isso equivale a 6,628 t/dia de sedimento em suspensão que podem ser transferidos para a planície de inundação e para a ilha, o que corresponde a 384,424 t/ano, considerando uma concentração média de 1,60 mg/L e 58 dias/ano em que o rio está acima das margens plenas.

Os dados de descarga da carga de fundo (Tab. 2) mostram que o trecho entre antes da bifurcação (I1-1) e após a bifurcação (I1-4) apresenta 103,568 t/dia de deposição no período de cheia. Na estação seca, no entanto, esse valor sobe para 115,754 t/dia, indicando que mais de 40.000 toneladas por ano de sedimentos são depositadas no trecho dos dois canais do rio. Os dados também mostram que cada canal possui uma dinâmica sedimentar específica.

| Seção | Vazão (m <sup>3</sup> /s) | Velocid. Média (m/s) | Largura (m) | Prof. Média (m) | Temp (°C) |
|-------|---------------------------|----------------------|-------------|-----------------|-----------|
| I1-1E | 1.169,137                 | 0,653                | 289,65      | 6,25            | 23,9      |
| I1-1D | 1.052,427                 | 0,709                | 259,08      | 5,55            | 23,9      |
| I1-2  | 1.041,518                 | 0,715                | 232,80      | 6,22            | 23,8      |
| I1-3  | 1.146,328                 | 0,729                | 198,70      | 7,84            | 23,9      |
| I1-4E | 1.448,497                 | 0,735                | 176,25      | 10,90           | 23,8      |
| I1-4D | 691,403                   | 0,719                | 160,22      | 5,50            | 23,8      |
| I1-1E | 659,625                   | 0,554                | 270,41      | 4,54            | 28,9      |
| I1-1D | 526,324                   | 0,542                | 288,69      | 3,35            | 28,9      |
| I1-2  | 495,437                   | 0,520                | 238,77      | 4,21            | 29,0      |
| I1-3  | 680,251                   | 0,562                | 187,94      | 6,45            | 28,9      |
| I1-4E | 922,531                   | 0,557                | 183,46      | 8,78            | 29,0      |
| I1-4D | 251,743                   | 0,500                | 137,34      | 3,68            | 29,0      |

Tabela 1 - Dados hidráulicos das seções pesquisadas no trecho da Ilha Laranjeira. Veja a Figura 2 para localização das seções. Campos brancos representam medições feitas em Agosto 2014 e os cinza Novembro 2015.

O canal esquerdo (seção I1-3) possui uma velocidade média de fluxo mais alta (Tab. 1), mas carrega menos sedimentos que o canal direito (seção I1-2). Na estação seca, a velocidade do fluxo na seção do canal esquerdo é 7,5% maior que no canal direito, enquanto que na estação das cheias essa diferença diminui para 1,9%. O canal esquerdo (I1-3) carrega 31% menos sedimentos na estação seca e 28% menos no período de cheia que o

canal direito (Tab. 2). As possíveis razões por trás desses achados são que as velocidades médias do fluxo antes da bifurcação I1-1 são maiores no lado direito (I1-1D). Ao dividir a seção I1-1, o lado direito tem uma velocidade média de fluxo de 0,709 m/s, uma vazão igual a 1.052,427 m³/s e uma área úmida de 1.449,91 m², uma vez que o canal é mais raso que o do lado esquerdo. Por outro lado, esses valores para o lado esquerdo são respectivamente 0,653 m/s, 1.169,137 m³/s e 1.771,94 m². Consequentemente, a textura da carga de fundo no lado direito é mais grossa ( $D_{50} = 0,2604$  mm) do que a carga de fundo no lado esquerdo ( $D_{50} = 0,1686$  mm). Como o canal direito recebe tamanhos de grãos maiores, isso influencia o transporte do sedimento de fundo desse canal, porque o transporte de sedimentos está em função da velocidade do fluxo e do tamanho das partículas, segundo a equação de Van Rijn (MACEDO et al., 2017).

| Seção | Csl* (mg/L) | Cdl* (mg/L) | Carga de fundo |               | Transp. sedim. susp. (t/dia) | Transp. sedim. dissol. (t/dia) | Transp. sedim. fundo. (t/dia) | Transp. total (t/dia) |
|-------|-------------|-------------|----------------|---------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------|
|       |             |             | $D_{50}$ (mm)  | $D_{90}$ (mm) |                              |                                |                               |                       |
| I1-1E | 1,33        | 13,0        | 0,1686         | 0,2054        | 134,348                      | 1.313,175                      | 125,217                       | 1.572,740             |
| I1-1D | 1,00        | 14,0        | 0,2604         | 0,3888        | 90,930                       | 1.273,016                      | 281,322                       | 1.645,268             |
| I1-2  | 2,33        | 14,0        | 0,2732         | 0,3909        | 209,602                      | 1.259,820                      | 257,816                       | 1.727,238             |
| I1-3  | 1,25        | 14,0        | 0,1868         | 0,3382        | 123,803                      | 1.386,598                      | 185,814                       | 1.696,215             |
| I1-4E | 1,00        | 14,0        | 0,1669         | 0,2026        | 125,150                      | 1.752,102                      | 114,288                       | 1.991,540             |
| I1-4D | 1,83        | 14,0        | 0,2706         | 0,3971        | 109,319                      | 836,321                        | 188,683                       | 1.134,323             |
| I1-1E | 20          | 10          | 0,2559         | 0,3852        | 1.139,832                    | 569,916                        | 81,549                        | 1.791,297             |
| I1-1D | 20          | 10          | 0,2559         | 0,3852        | 909,488                      | 454,744                        | 97,839                        | 1.462,071             |
| I1-2  | 26          | 11          | 0,2794         | 0,3990        | 1.112,950                    | 470,863                        | 49,806                        | 1.633,619             |
| I1-3  | 16          | 9           | 0,1696         | 0,2070        | 940,379                      | 528,963                        | 34,549                        | 1.503,891             |
| I1-4E | 26          | 10          | 0,1806         | 0,2908        | 2.072,374                    | 797,067                        | 27,631                        | 2.897,072             |
| I1-4D | 26          | 10          | 0,1806         | 0,2908        | 565,515                      | 217,506                        | 36,003                        | 819,024               |

\* Csl e Cdl = concentração de carga suspensa e dissolvida, respectivamente.

Tabela 2 - Sedimentologia das seções levantadas no trecho da Ilha Laranjeira. Campos brancos mostram dados na cheia (ago. 2014) e os cinzas na seca (nov. 2015).

O canal direito recebe 46% da vazão, depositando 46,319 t/dia na cheia e 30,918 t/dia na estação seca, tanto na parte superior (35,769 t/dia – entre as seções I1-1D e I1-2) quanto na parte inferior (41,468 t/dia – entre as seções I1-2 e I1-4D). O trecho superior desse canal, entre as seções I1-1D e I1-2, deposita 23,506 t/dia durante a cheia e 48,033 t/dia na seca. Esses resultados mostram que, em média, o trecho superior do canal direito acumula anualmente 13.055,867 toneladas em sedimentos de fundo. O trecho inferior, entre as seções I1-2 e I1-4D, deposita 69,133 t/dia, na cheia, e 13,803 t/dia na estação seca,

correspondendo a deposição de 15.135,820 toneladas por ano. No período de cheia, os dados sedimentológicos também evidenciam que o trecho superior do canal direito perde cerca de 8,35% de sua capacidade, apesar de aumentar sua competência em 0,0128 mm. Por outro lado, seu trecho inferior apresenta uma pequena redução de sua competência (0,0026 mm), com uma maior redução de sua capacidade (26,81%). Essas modificações se intensificam na estação seca, quando o trecho superior perde 49,09% da capacidade e 0,0235 mm de competência, enquanto as perdas na parte inferior são respectivamente 27,71% e 0,0988 mm.

O canal esquerdo como um todo exibe variação sazonal da deposição. A taxa média de deposição é de 5,464 t/dia durante a cheia e 26,959 t/dia durante a estação seca. Seu trecho superior (seção I1-1E e seção I1-3) mostra uma erosão de 60,597 t/dia no período das cheias e de 47 t/dia na estação seca, o que leva a uma taxa média de erosão de 2.481,452 toneladas por ano. O trecho inferior (da seção I1-3 à seção I1-4E) deposita 71,526 t/dia, na cheia, e 6,918 t/dia na estação seca, correspondendo a uma taxa média de deposição anual de 14.316,030 toneladas. Portanto, o trecho superior do canal esquerdo aumenta a capacidade (48,39%) e a competência (0,0182 mm) durante a cheia. Na estação seca, ocorre uma inversão e o canal perde capacidade (57,63%) e competência (0,0863 mm). Alternativamente, o trecho inferior desse canal perde capacidade (38,49%) e competência (0,0199 mm) na cheia, mas ganha competência (0,011 mm) e perde capacidade (20,02%) na estação seca.

Os resultados hidrossedimentares mostram que o processo deposicional no canal direito é mais intenso do que o verificado no canal esquerdo. Portanto, a evolução da ilha pode encaminhar para a anexação à planície de inundação do lado direito por meio de assoreamento. Assumindo taxas de sedimentação constantes e a batimetria do rio, estimamos o intervalo de tempo necessário para esta anexação. O mapa mostrado na Fig. 2 indica que, com as taxas atuais de deposição, o primeiro local a ser preenchido pode ser o trecho superior do canal direito, daqui a cerca de 300 anos. Posteriormente, seu trecho inferior pode ser assoreado após quase 380 anos. No entanto, é importante destacar que as mudanças na morfologia do canal resultam em mudanças na hidrossedimentologia, portanto, esse esquema evolutivo é realmente simplificado demais. Embora as estimativas indiquem que o trecho inferior do canal esquerdo pode ser assoreado, isso pode não ser o caso, pois o preenchimento do canal direito também pode alterar a hidrodinâmica complexa do rio. Portanto, nossos dados e prognóstico evolutivo da morfodinâmica indicam que a Ilha Laranjeira pode estar ligada à planície de inundação dentro de 300 a 400 anos no futuro, fazendo o rio Paraguai fluir em um único canal.

## 4 | CONCLUSÕES

Na ilha Laranjeira, o rio Paraguai não apresenta, de modo geral em todo o trecho,

mudança da composição da carga de fundo de acordo com o período hidrológico, pois a ilha está localizada no início do primeiro compartimento do rio Paraguai (MACEDO, 2017), região na qual a planície Corumbá ainda não se alargou e que possui grande troca hídrica com a bacia de inundação. Apesar disso, a carga de fundo no canal antes de se bifurcar é mais grossa no período de seca, pois nesse compartimento do rio Paraguai, o canal perde potência na seca e com isso os sedimentos maiores ficam retidos nesse trecho da ilha.

O rio Paraguai na ilha Laranjeira é um local de constantes trocas sedimentares com sua planície, onde mais de 300 t/ano de sedimento suspenso são transferidas à bacia de inundação na cheia. A carga de fundo do braço direito dessa ilha é mais grossa que o braço esquerdo, apesar de este apresentar velocidades de fluxos maiores, o que poderia significar maior potência de canal. No entanto, as potências nesses canais praticamente se igualam e este fator não é o responsável pela diferença no tamanho da carga de fundo. O fator que parece levar a essa diferença é a bifurcação do fluxo na cabeceira montante da ilha, o qual é mais veloz em seu lado direito.

Portanto, a configuração morfológica do rio Paraguai na ilha Laranjeira provoca divisão no fluxo que leva a maiores taxas sedimentares no braço direito da ilha, que estaria evoluindo para a anexação desta à planície na margem direita do rio. Apesar de a composição da carga de fundo do rio Paraguai na ilha Laranjeira não sofrer modificação de modo geral, a diminuição da velocidade de fluxo no período de seca acarreta menor competência do rio, que passa a depositar sedimento mais grosso no canal antes da bifurcação. Com isto, o canal após a ilha apresenta carga de fundo mais fina, já que as partículas maiores ficam retidas na cabeceira montante da ilha. Diminuição do calibre da carga de fundo também ocorre no braço esquerdo da ilha Laranjeira na seca.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à FAPESP (2014/06889-2), ao CNPq (443437/2014-9; 431253/2018-8) e à FUNDECT (TO: 083/2016) pelo apoio financeiro às nossas pesquisas na Bacia do Pantanal. Ao CNPq pelas bolsas ao primeiro (CNPq 169329/2017-8) e segundo autores (CNPq 304863/2015). Nossos sinceros agradecimentos ao professor Fabiano Tomazini e ao Dr. Eder Spatti pelo apoio na análise de amostras de água no Laboratório de Geoquímica Ambiental - LAGEA, do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento, da Universidade Estadual Paulista - UNESP de Rio Claro. Agradecemos também ao professor Dr. Fernando H. M. Portelinho por disponibilizar o Laboratório de Mecânica e Geotecnia de Solos, do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar; e o técnico Sidnei Muzetti, pelo apoio prestado na realização dos testes de análise granulométrica das amostras de sedimentos do fundo do rio Paraguai.

## REFERÊNCIAS

ASHWORTH, P.J.; LEWIN, J.. How do big rivers come to be different? **Earth Sci. Rev.**, v.114, n.1-2, p.84-107, 2012. DOI: 10.1016/j.earscirev.2012.05.003.

ASSINE, M.L.; MERINO, E.R.; PUPIM, F.N.; MACEDO, H.A.; SANTOS, M.G.M. The Quaternary alluvial systems tract of the Pantanal Basin, Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, v.45, n.3, p.475-489. 2015a. DOI: 10.1590/2317-4889201520150014.

ASSINE, M.L.; MACEDO, H.A.; STEVAUX, J.C.; BERGIER, I.; PADOVANI, C.R.; SILVA, A. Avulsive Rivers in the Hydrology of the Pantanal Wetland. In: Ivan Bergier e Mario ASSINE (ed.), **Dynamics of the Pantanal wetland in South America**, Hdb Env Chem, v.37, p.83-110, 2015b. DOI: 10.1007/698\_2015\_351.

CARLING, P.; JANSEN, J.; MESHKOVA, L. Multichannel rivers: their definition and classification. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.39, p-26-37, 2014. DOI: 10.1002/esp.3419

CONWAY, D.; MAHÉ, G.. River flow modelling in two large river basins with non-stationary behavior: the Paraná and the Niger. **Hydrological Processes**, v.23, n.22, p.3186-3192, 2009. DOI: 10.1002/hyp.7393.

ESRI. **Environmental System Research Institute**. 2010. ArcGIS 10. Redlands – California.

JANSEN, J. D; NANSON, G.C.. Anabranching and maximum flow efficiency in Magela Creek, northern Australia, **Water Resour. Res.** v.40, W04503, 2004. doi: 10.1029/2003WR002408.

LATRUBESSE, E. Patterns of anabranching channels: The ultimate end-member adjustment of mega rivers. **Geomorphology**, v.101, n.1-2, p.130-145, 2008.doi:10.1016/j.geomorph.2008.05.035.

LATRUBESSE, E.. Large rivers, megafans and other Quaternary avulsive fluvial systems: A potential "who's who" in the geological record. **Earth-Science Reviews**, v.146, p.1-30, 2015.

LATRUBESSE, E.; FRANZINELLI, E.M..The late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. **Geomorphology**, v.70, n.3-4, p.372-397, 2005.

LATRUBESSE, E.M.; AMSLER, M.; MORAIS, R.P.; AQUINO, S.. The geomorphic responses of large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. **Geomorphology**, v.113, n.3-4, p.239-252, 2009.

LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C.. The Anavilhanas and Mariuá Archipelagos: Fluvial Wonders from Negro River, Amazon Basin. In: **Landscapes and Landforms of Brazil**. Org. por Vieira, B.C, Salgado, A.A.R., Santos, L.J. ed. Springer. 2015. DOI: 10.1007/978-94-017-8023-0\_14

LELI, I.T. **Gênese, evolução e geomorfologia das ilhas e planície de inundação do alto rio Paraná**. Tese de Doutorado (Geociências e Meio Ambiente) - UNESP, Rio Claro-SP, 2015.

LELI, I.T., STEVAUX J.C., ASSINE, M.L.. Origin, evolution, and sedimentary records of islands in large anabranching tropical rivers: The case of the Upper Paraná River, Brazil. **Geomorphology**, v.358, 107118, 2020. DOI: 10.1016/j.geomorph.2020.107118.

LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. **Fluvial processes in geomorphology**. New York: Dover Publication. 1995.

MACEDO, H.A. **Evolução geomorfológica da e dinâmica hidrossedimentar da planície fluvial Paraguai-Corumbá, Quaternário do Pantanal**. Tese de Doutorado (Geociências e Meio Ambiente) - UNESP Rio Claro-SP, 2017, 193p.

MACEDO, H.A.; STEVAUX, J.C.; ASSINE, M.L.; SILVA, A.; PUPIM, F.N.; MERINO, E.R.; LO, E. Calculating bedload transport in rivers: concepts, calculus routine and application. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.18, n.4, p.813-824, 2017a. DOI: 10.20502/rbg.v18i4.1227.

MACEDO, H.A.; STEVAUX, J.C.; ASSINE, M.L.; SILVA, A.; MERINO, E.R.; LO, E.. Hydrosedimentology of the Paraguay River in the Corumbá fluvial reach, Pantanal wetland. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.20, n.2, p. 255 – 271, 2019. DOI: 10.20502/rbg.v20i2.1500.

MIALL, A.D. A review of the braided-river depositional environment. **Earth Science Review**, v.13, n.1, p.1-62, 1977.

NANSON, G.C.; KNIGHTON, A.D. Anabranching rivers: their cause, character and classification. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.21, p.217-239, 1996.

NANSON, G.C.; GIBLING, M.R. Anabranching and anastomosing rivers. In: A.S. Goudie (ed.) **Encyclopedia of geomorphology**, v.1. Routledge: London; p.23–25. 2004.

NICHOLAS, A. P.; SANDBACH, S. D.; ASHWORTH, P. J.; AMSLER, M. L.; BEST, J. L.; HARDY, R. J.; LANE, S. N.; ORFEO, O.; PARSONS, D. R.; REESINK, A. J. H.; SMITH, G. H. S.; SZUPIANY, R. N.. Modelling hydrodynamics in the Rio Paraná, Argentina: An evaluation and inter-comparison of reduced-complexity and physics based models applied to a large sand-bed river. **Geomorphology**, v.169-170, p.192-211, 2012. doi:10.1016/j.geomorph.2012.05.014

NICHOLAS, A.P.; ASHWORTH, P.J.; SAMBROOK SMITH, G.H.; SANDBACH, S.D.. Numerical simulation of bar and island morphodynamics in anabranching megarivers. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, v.118, p.2019-2044, 2013. DOI: 10.1002/jgrf.20132, 2013

REESINK, A. J. H.; ASHWORTH, P. J.; SAMBROOK SMITH, G. H.; BEST, J. L.; PARSONS, D. R.; AMSLER, M. L.; HARDY, R. J.; LANE, S. N.; NICHOLAS, A. P.; ORFEO, O.; SANDBACH, S. D.; SIMPSON, C. J.; SZUPIANY, R. N.. Scales and causes of heterogeneity in bars in a large multi-channel river: Rio Parana, Argentina. **Sedimentology**, v.61, n.4, p.1055-1085, 2014. DOI: 10.1111/sed.12092

SINHA, R.; LATRUBESSE, E.; NANSON, G.. Quaternary fluvial systems of tropics: major issues and status of research. **Palaeogeography, palaeoclimatology palaeoecology**, v.356-357, p.1-15, 2012. DOI: 10.1016/j.palaeo.2012.07.024

STEVAUX, J.C., MACEDO, A.H., ASSINE, M.L., SILVA, A.. Changing fluvial styles and backwater flooding along the Upper Paraguay River plains in the Brazilian Pantanal wetland. **Geomorphology**, v. 358, 106906, 2020. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.106906.

# CAPÍTULO 6

## INVESTIGAÇÃO GEOQUÍMICA DE FEIÇÕES E ESTRUTURAS ARQUEOLÓGICAS EM TERRA PRETA DE ÍNDIO DO SÍTIO BITOCA (PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS, PARÁ)

*Data de aceite: 01/03/2021*

**Majd Nidal Aboul Hosn**

Universidade Federal do Oeste do Pará

**Bruno Apolo Miranda Figueira**

Universidade Federal do Oeste do Pará

**Marcondes Lima da Costa**

Universidade Federal do Pará

**Dirse Clara Kern**

Museu Paraense Emílio Goeldi

**RESUMO:** O presente trabalho descreve a química e mineralogia de solos tipo Terra Preta Arqueológica (TPA) ou Terra Preta de Índio (TPI) provenientes dos sítios Bitoca I e II, localizados na Região do Salobo (Província Mineral de Carajás, Pará). Os resultados revelaram características químicas e mineralógicas similares a outras TPAs encontradas ao longo da Região Amazônica, tais como, teores relativamente elevados de Ca (média de 3600 ppm), P (média de 850 ppm), Mn (média de 730 ppm), Zn (média de 55 ppm) e Cu (média de 63 ppm). Nos solos relacionados às feições de ocupação por cabanas e fogueiras, a composição mineralógica está representada por quartzo, caulinita, calcita, muscovita, anatásio, hematita, goethita e gibbsita. Fases amorfas também foram identificadas principalmente como fosfatos de cálcio e matéria orgânica (ácidos húmicos e fúlvicos). As análises das feições/estruturas aqui descritas ajudaram na identificação/comprovação de áreas destinadas a diferentes atividades dentro do sítio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Investigação geoquímica, terra preta de índio, Amazonia.

**ABSTRACT:** The present work describes the chemistry and mineralogy of soils such as Terra Preta Arqueológica (TPA) or Terra Preta de Índio (TPI) from the Bitoca I and II sites, located in the Salobo Region (Mineral Province of Carajás, Pará). The results revealed chemical and mineralogical characteristics similar to other TPAs found throughout the Amazon Region, such as, relatively high levels of Ca (average of 3600 ppm), P (average of 850 ppm), Mn (average of 730 ppm), Zn (average of 55 ppm) and Cu (average of 63 ppm). In soils related to the characteristics of occupation by huts and campfires, the mineralogical composition is represented by quartz, kaolinite, calcite, muscovite, anatase, hematite, goethite and gibbsite. Amorphous phases have also been identified mainly as calcium phosphates and organic matter (humic and fulvic acids). The analysis of the features / structures described here helped in the identification / verification of areas destined to different activities within the site.

**KEYWORDS:** Geochemical investigation, earth dark, Amazon.

### INTRODUÇÃO

Trabalhos referentes à Arqueologia remontam ao século XIX e mostram que a ocupação da Região Amazônica iniciou ainda no Pleistoceno Superior ou Tardio. Dentre os diversos registros das atividades dos povos,

uma das principais é a presença de material cerâmico e solos antrópicos, conhecidos como terra preta arqueológica (TPA) ou terra preta de índio (TPI).

Estes solos transformados pelo homem são fundamentais para os estudos de padrão de assentamentos, pois assinalam as áreas funcionais de antigas aldeias, ao apresentarem propriedades muito distintas no seu horizonte de ocupação (Kern, 1996; Lima *et al.*, 2002; Costa *et al.*, 2009), os quais são caracterizadas pela coloração escura e teores relativamente elevados de Ca, Mg, P, Mn, Zn, Cu e Corgânico, combinados a outros materiais arqueológicos, tais como fragmentos cerâmicos e artefatos líticos.

As TPAs apresentam alta fertilidade, contrapondo-se à maioria dos solos amazônicos não perturbados pela ação humana pré-histórica, considerados ácidos e pobres em nutrientes (Kern & Kämpf, 1989; Lima *et al.*, 2002). Dessa forma, apesar de o tema despertar interesse de pesquisadores ao longo da história, a ocupação pretérita da Amazônia ainda apresenta regiões que permanecem desconhecidas ou pouco estudadas química e mineralogicamente, como por exemplo, os solos de terra preta provenientes das regiões do Oeste, Sul e Sudeste do Pará.

Dentro deste contexto, o presente trabalho visa identificar características química e mineralógicas que auxiliem na delimitação de feições arqueológicas de solos TPA dos sítios Bitoca I e II da região Amazônica. Estas feições, também denominadas estruturas, são evidências provenientes da presença humana, tais como buracos de esteio/estaca, fogueira, fogão, piso, parede, sepultamento, entre outras. Segundo Joukowsky (1980), feições/estruturas são artefatos, geralmente construídos, que não podem ser removidos sem causar alterações no solo.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os sítios arqueológicos Bitoca I e II estão localizados no município de Marabá, sudeste do estado do Pará, cerca de 600 km da capital Belém. Estes sítios ocupam a margem esquerda do Igarapé Salobo, na baixa vertente, em um terraço com partes planas (formando patamares) e inclinação suave em direção ao igarapé. São sítios de grandes dimensões (300m x 300m), a céu aberto do tipo habitação, cerâmico, com presença de manchas de TPA e solo marrom escuro. Essas manchas estão relacionadas, possivelmente, a áreas de habitação (cabanas e arredores), uma vez que apresentam evidências como marcas de buracos de esteios e estacas; fogueiras; cerâmicas simples e decoradas de formas diversas; material lítico variado, adornos, restos de alimentação, entre outros (Silveira *et al.* 2008; Silveira *et al.*, 2009).

As amostras foram coletadas em trabalhos de campo do Salvamento arqueológico na área do Projeto Salobo, coordenados pela Dra. Maura Silveira e Dra. Dirse Kern. Após a coleta, as amostras foram higienizadas, codificadas (Tabela 1) e armazenadas em sacos plásticos para posterior caracterização. Após secagem, as mesmas foram peneiradas

e pulverizadas para análise química total em laboratório comercial (Geosol-LTDA, Universidade Federal de Viçosa-MG). A caracterização mineralógica foi feita por difração de raios-X utilizando um difratômetro XPERT PRO MPD da Panalytical, com tubo de raios-X de cobre ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ). Para os estudos em espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), foi utilizado um espectrômetro da Bruker, FTIR Equinox 55, modelo IFS66.

| Sítio           | Sigla           | Proveniência   |
|-----------------|-----------------|--|
| <b>Bitoca 1</b> | E7T1SE-7        | Fogueira   |
|                 | E7T1SE-6        | Fogueira   |
|                 | E6T1N-5         | Fogueira   |
|                 | E3SO-1A4        | Sedimento com cinzas e argila queimada da fogueira       |
|                 | E2 S3- 4        | Sedimento de buraco de estaca, topo de nível             |
|                 | E2S13SO-15      | Bloco com gordura, área central                          |
|                 | E1S8-6          | Cerâmica e solo impregnados c/ possível gordura de porco |
|                 | E5T1S-6         | Sedimento de buraco de estaca                            |
|                 | E9T2NE-6A       | Feição mancha escura, parede s                           |
|                 | E9T1NE-6A       | Mancha 2, feição da mancha escura                        |
|                 | E2S4-3A         | Mancha de carvão   |
|                 | <b>Bitoca 2</b> | E4S7-1   |
| E10S1-3         |                 | Cabana   |
| E4S5-4          |                 | Buraco de estaca   |
| E4S7-4          |                 | Buraco de estaca escuro                                  |
| E4S1-5          |                 | Interior de buraco                                       |

Tabela 1: Origem e nomenclatura das amostras deste trabalho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos do sítio Bitoca I (Figura 1) apresentam composição mineralógica similar aos do sítio Bitoca II, com destaque para quartzo e caulinita. As fases calcita, muscovita, anatásio, hematita, goethita e gibbsita foram observadas em menor quantidade. Calcita, está presente apenas na amostra E3SO-1A4. A presença desta fase normalmente está relacionada a depósitos de conchas (Klokler et al., 2010), também conhecido como sambaquis e pode ser associada à dieta (consumo de moluscos), ou mesmo a rituais funerários, resultado que corrobora com a hipótese levantada durante as escavações, de que se tratava de uma feição/estrutura de enterramento. A presença de goethita e hematita nas amostras E2S13SO-5 e E7T1SE-7 é um indicativo de intensa atividade da matéria orgânica na redução e decomposição destes óxidos de ferro, que estão presentes em latosolo amarelo, tipo de solo precursor às TPAs (Kern, 1996; Costa, 2011).

Os espectros de FTIR (Figura 2) na região de 4000-2000  $\text{cm}^{-1}$  indicam que

todas as amostras de solos investigadas exibem bandas de vibração Al-OH da estrutura caulinita à 3690, 3650 e 3620  $\text{cm}^{-1}$ . A banda em torno de 3440  $\text{cm}^{-1}$  em E1S8-6, E5T1S-6, E6T1N-5 e E7T1SE-7, também são do estiramento Al-O-H, porém de gibbsita. As bandas em torno de 3400  $\text{cm}^{-1}$  (E3SO-1A4, E2S3-4) são dos estiramentos O-H de grupos carboxílicos e anéis aromáticos de ácidos húmicos e fúlvicos (Shin et al., 1999; Jayaganesh & Senthurpandian, 2010). A presença destes ácidos também foi identificada nas amostras E2S4-3 e E9T2NE-6, que apresentam vibrações C-H (ligações alifáticas) próximas a 2922 e 2851  $\text{cm}^{-1}$  (Beutelspacher & van der Marel, 1976). Na amostra E3SO-1A4, as vibrações C-O do grupo  $\text{CO}_3^{2-}$  de calcita estão próximas à 3210, 2515 e 2325  $\text{cm}^{-1}$ .

No intervalo de 2000-1100  $\text{cm}^{-1}$ , observou-se na amostra E3SO-1A4 uma banda próxima à 1798  $\text{cm}^{-1}$ , que pode estar relacionada à vibração C-O de  $\text{CaCO}_3$ , porém da fase amorfa (Andersen & Brecevic, 1991), enquanto que à 1445  $\text{cm}^{-1}$ , pode ser assinalada ao estiramento  $\nu_3\text{-CO}_3$  de calcita (Devarajan et al., 2007). Exceto para a amostra E9T2NE-6, estiramentos de grupos O-H,  $\text{COO}^-$ , C-O de fenóis e C-H (grupo metila) dos ácidos húmicos (Sakellariadou, 2006) estão presentes em quase todas as amostras na região de 1385 e 1376  $\text{cm}^{-1}$ . As bandas em 1115 e 1030  $\text{cm}^{-1}$  das amostras E2S13SO-5, E2S4-3, E2S3-4, E5T1S-6 e E9T2NE-6 são de estiramentos das ligações P-O de fosfatos amorfos derivados de ossos e cartilagens (Boskey & Camacho, 2008). Bandas entre 1100-400  $\text{cm}^{-1}$  foram observadas e correspondem principalmente às vibrações metaloxigênio ou não-metaloxigênio nos minerais presentes. Como por exemplo, bandas de vibração Fe-O de goethita e hematita à 695, 539, 471  $\text{cm}^{-1}$ ; bandas de estiramento Si-O do quartzo em 1102, 1033, 796, 471 e 431  $\text{cm}^{-1}$ ; vibrações Ti-O do anatásio em 748 e 540  $\text{cm}^{-1}$ . Vibrações Al-O-H de gibbsita e caulinita em 939 e 914  $\text{cm}^{-1}$  e Si-O-Al de caulinita a 1010, 752, 695 e 539  $\text{cm}^{-1}$  (Beutelspacher & van der Marel, 1976). Há uma banda a 877  $\text{cm}^{-1}$  (E3SO-1A4) que se refere ao estiramento  $\nu_2\text{-CO}_3$  de calcita proveniente de conchas de molusco (Compere & Bates, 1972). Estiramentos de P-O dos tetraedros  $\text{PO}_4$  de fosfato de cálcio amorfo podem ser identificados à 940, 700 e 430  $\text{cm}^{-1}$  (Rokita et al., 2000, Termine & Lundy, 1974).

Os teores elevados de Ca e P (Figura 3) foram encontrados em todas as amostras. Na amostra E4S7-1, os teores de Ca (10460 ppm) e P (1700 ppm) foram os mais elevados, seguida pela amostra E10S1-3, que apresentou teores em torno de 3380 e 1500 ppm, respectivamente. Essas amostras são provenientes de estruturas arqueológicas de cabanas, sugere-se que elas foram enriquecidas a partir das atividades do dia-dia (cozimento, descarte de resíduos de alimentos, animais e vegetais, etc.) realizadas pelo homem pré-histórico (Costa e Kern, 1999). As amostras de fogueiras (E3SO-1A4, E7T1SE-7, E7T1SE-6 e E6T1N5) também mostraram um enriquecimento por Ca e P, com variação de Ca entre 2049 a 9805 ppm e P de 694 a 1561 ppm. Com esses teores supõem-se que estas fogueiras eram utilizadas, principalmente, para cozimento de alimentos ricos em ossos e proteínas, ou até em rituais. Os valores dos de Mn, Cu e Zn também estão

relativamente elevados. O Mn varia de 340 a 1030 ppm, Zn de 26 a 75 ppm e Cu de 48 a 93 ppm. No caso das amostras referentes as fogueiras (E3SO-1A4, E7T1SE-7, E7T1SE-6 e E6T1N5) e cabanas (E4S7-1 e E10S1-3), esses valores podem refletir a queima de folhas de palmeiras normalmente empregadas na construção ou queima destas estruturas arqueológicas (Kern, 1999).

## CONCLUSÕES

I. Os solos TPA estudados apresentam mineralogia comum às já reportadas na literatura, com a presença majoritária de quartzo e caulinita. Em menor quantidade, calcita, muscovita, anatásio, gibbsita, hematita e goethita.

II. Pode-se confirmar, através do emprego de espectroscopia de infravermelho, a presença dos minerais identificados por DRX, assim como a presença de matéria orgânica (ácido húmico e fúlvico), fosfato amorfo e carbonato amorfo, derivados de conchas de molusco.

III. As amostras das feições relacionadas as fogueiras e cabanas apresentaram valores elevados de Ca, P, Mn, Cu e Zn, na ordem de grandeza encontrada em solos TPA.

IV. As análises das feições/estruturas ajudaram na identificação/comprovação de áreas destinadas a diferentes atividades dentro do sítio

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ, UFPA, Museu Paraense Emílio Goeldi e Programa de apoio a pesquisa PPGSAQ-UFOPA pelo apoio concedido. Também agradecem a Dra. Maura Imazio e Prof. Dr. Marcondes L. da Costa pelo suporte técnico.

## REFERÊNCIAS

ANDERSEN, F. A. & BRECEVIC, L. Infrared Spectra of Amorphous and Crystalline Calcium Carbonate. *Acta Chemica Scandinava*, 45:1018-1024, 1991.

BEUTELSPACHER, H. & VAN DER MAREL. H. W. Atlas of infrared spectroscopy of clay minerals and their admixtures. 1.ed. Amsterdam: Elsevier, 1976. 379p.

BOSKEY, A. & CAMACHO, N. P. FT-IR imaging of native and tissue-engineered one and cartilage. *Biomaterials*, 28:2465-2478, 2008.

COMPERE, E. L. & BATES, J. M. Determination of calcite:aragonite ratios molusc shells by infrared spectra. *Limnol. Oceanogr.*, 18:326-331, 1973.

COSTA, M. L. & KERN, D. C. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon. *Journal of Geochemical Exploration*, 66:369-385, 1999.

COSTA, J. A. Mineralogia e geoquímica de terra preta Arqueológica para identificação de padrão Ocupacional pré-histórico no vale do baixo rio Amazonas (Juruti, Pará). Belém, PA, Universidade Federal do Pará, 2011. 124p. (Tese de Doutorado).

DEVAJARAN, A.; KHADAR, M. A.; CHATTOPADHYAY, K. Effect of ball milling on chemically synthesized nanoparticles of CaCO<sub>3</sub>. *Materials Science and Engineering A*, 452: 395–400, 2007.

JAYAGANESH, S. & SENTHURPANDIAN, V. K. Extraction and Characterization of Humic and Fulvic Acids from Latosols under Tea Cultivation in South India. *Asian Journal of Earth Sciences*, 3:130-135, 2010.

JOUKOWSKY, M. A complete manual of field archaeology. Tools and techniques of field work for archaeologists. 1 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1980. 630 p.

KERN, D. C. Geoquímica e pedogeoquímica de sítios arqueológicos com terra preta na floresta nacional de Caxiuanã (Portel-Pa). Belém, PA, Universidade Federal do Pará, 1996. 128 p. (Tese de Doutorado).

KÄMPF, N. & KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In TorradoVidal, P.; ALLEONI, L. R. F. COOPER, M. & SILVA, A. P. eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade brasileira de ciência do solo, 2005. p. 277-320.

KERN, D. C.; COSTA, M. L. & FRAZÃO, F. J. L. Geoquímica de sítio arqueológico com Terra Preta no centro da cidade de Quatipuru-PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA 6., Manaus, 1999. Anais. Manaus: Sociedade Brasileira de Geologia, 2000. p. 408-409.

KLOKLER, D.; VILLAGRÁN, X. S.; GIANNINI, P. C. F.; PEIXOTO, S. & DEBLASIS, P. Juntos na Costa: zooarqueologia e geoarqueologia de sambaquis do litoral sul catarinense. *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, 20:53-75, 2010.

LIMA, H., SCHAEFER, C.; MELLO J.; GILKES R.; KER J. Pedogenesis and pre-Colombian land use of "Terra Preta Anthrosols" ("Indian black earth") of Western Amazônia. *Geoderma*, 110: 1-17, 2002.

ROKITA, M.; HANDKE, M. & MOZGAWA, W. The AIPO<sub>4</sub> polymorphs structure in the light of Raman and IR spectroscopy studies. *Journal of Molecular Structure*, 555:351-356, 2000.

SILVEIRA, M. I.; RODRIGUES, M C L. F.; OLIVEIRA, E. R., LOSIER, LOUIS-MARTIN. Sequência cronológica de ocupação na área do Salobo (Pará). *Revista de Arqueologia*, 21:61-84, 2008.

SILVEIRA, M. I.; RODRIGUES, M. C. L. F.; OLIVEIRA, E. R., LOSIER, LOUIS-MARTIN. Prospecção arqueológica em áreas de floresta-contribuição metodológica da pesquisa na área do Projeto Salobo (Pará). *Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia*, 19:155-178, 2009.

SHIN, H. S.; MONSALLIER, J. M.; CHOPPIN, G. R. Spectroscopic and chemical characterizations of molecular size fractionated humic acid. *Talanta*, 50:641- 647, 1999.

TERMINE, J. D. & LUNDY, D. R. Vibrational spectra of some phosphate salts amorphous to X-ray diffraction. *Calcified Tissue Research*, 15:55-70, 1974

## METODOLOGIA PRÉ-OPERACIONAL PARA ELABORAÇÃO DE BASELINES AMBIENTAIS FRENTE AS POTENCIAIS RESERVAS DE GÁS NÃO CONVENCIONAL NA BACIA DO SÃO FRANCISCO – MINAS GERAIS/BRASIL

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 05/02/2021

### Jussara da Silva Diniz Lima

INCT Acqua – Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/3101212902774098>

### Vinicius Goncalves Ferreira

INCT Acqua – Universidade Federal de Minas Gerais  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/4654987435751451>

### Joyce Castro de Menezes Duarte

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CTMI  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/9672991247184261>

### Gustavo Filemon Costa Lima

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CTMI  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/6694414277138697>

### Carlos Alberto de Carvalho Filho

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN/CTMI  
Belo Horizonte – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/3363616361924779>

**RESUMO:** A indústria dos hidrocarbonetos não convencionais, também denominados *shale gas*, cresce exponencialmente no século XXI em

meio ao incremento da demanda internacional e suas contundentes críticas por parte dos setores ambientais. Neste contexto, em muito se destaca as ocorrências de gás natural em meio a bacia São Franciscana, área de constantes estudos prospectivos de cunho público e privado. Assim, a rede de P&D GASBRAS atua em uma de suas frentes na proposta de se estabelecer um protocolo pré-operacional ambiental para uma potencial indústria de hidrocarbonetos não convencional, utilizando a bacia do São Francisco como área de estudo. Como uma proposta metodológica ambiental para a indústria do *shale gas*, o delineamento da área a ser estudada deve confluir fatores como escala, representatividade e abordagem dos melhores alvos potenciais de exploração, viabilidade técnico-financeira e disponibilidade hídrica compatível com o projeto. O levantamento de baseline é fundamental para caracterização do ambiente de investigação e permite assim, a avaliação dos impactos ambientais prévios e posteriores a extração do *shale gas*, devendo considerar também critérios socioeconômicos. Em sequência, recomenda-se estabelecer uma análise de vulnerabilidade de aquíferos abordando metodologias como GOD, DRASTIC e AVI. Por fim, deve-se promover uma caracterização da rocha geradora em termos geoquímicos e radiológicos para compreender os possíveis riscos ao ambiente estudado. A proposta pré-operacional do projeto GASBRAS tem sido aplicada e refinada objetivando então estruturação técnico-ambiental para aquilo que poderá ser uma potencial reserva estratégica ao desenvolvimento nacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Gás não convencional,*

## PRE-OPERATIONAL METHODOLOGY FOR ENVIRONMENTAL BASELINES CONSIDERING THE POTENTIAL RESOURCES OF NON-CONVENTIONAL NATURAL GAS IN THE SÃO FRANCISCO BASIN – MINAS GERAIS/BRAZIL

**ABSTRACT:** The unconventional hydrocarbon industry production, also referred to as shale gas, has grown significantly in the 21<sup>st</sup> century amid the rising international demand for gas and the sharp criticisms coming from the environmental sectors. In this context, the occurrences of natural gas in the middle of the São Francisco basin has been investigated by prospective studies from public and private initiatives. Thus, the GASBRAS R&D network aims at establishing a pre-regulatory environmental protocol for a potential unconventional hydrocarbon industry using the São Francisco basin as a reference. In order to be an environmental consistent proposal for the shale gas industry in the region, the design of the project must combine factors such as scale, representativeness, potential exploitation targets, technical and financial viability, and water availability compatible with the magnitude of the project. The baseline survey is fundamental to characterize the local environment and thus allow an assessment of the previous and subsequent impacts of shale gas extraction, taking into account the environmental and socioeconomic aspects as well. Following this sequence, it is recommended to establish an aquifer vulnerability analysis using methodologies such as GOD, DRASTIC, and AVI. Lastly, the host rocks characterization through geochemical and radiological techniques is crucial to establish the risks to the studied environment. The pre-operational proposal from the GASBRAS project provides a technical-environmental structure to assess what could be a potential strategic reserve for national development.

**KEYWORDS:** Unconventional gas, environment baseline, vulnerability, GASBRAS

## 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1 *Shale Gas*: Especificidades da exploração dos hidrocarbonetos não convencionais

A exploração de gás não convencional tem crescido muito desde o final do século XX. As projeções econômicas propostas pela U.S Energy Information Administration (2017) preveem um aumento de 43% no consumo global de gás natural nos próximos vinte e cinco anos. Estima-se que a reserva global de hidrocarbonetos não convencionais está na ordem de 716 milhões de metros cúbicos bem distribuídos ao longo dos continentes. Os Estados Unidos detêm as maiores jazidas rentáveis (Boyer *et al.*, 2011; Vengosh *et al.*, 2014), enquanto países como Brasil, Canadá, China, dentre outros, possuem reservas expressivas, classificando-os como potenciais *players* (Santos; Matai, 2010).

O método utilizado para o desenvolvimento de recursos petrolíferos não convencionais pode ser descrito, sucintamente, como a perfuração das rochas geradoras e rochas reservatórios de baixíssima permeabilidade, por intermédio de poços de longo trecho horizontal e associado à realização de fraturamentos hidráulicos múltiplos com

espaçamentos projetados (CTMA/PROMINP, 2016), técnica essa mundialmente conhecida como *fracking*. Durante esse processo, ocorre a injeção de fluidos específicos (*fracking fluids*) sob alta pressão para induzir a formação de fraturas, aumentando a permeabilidade e permitindo a migração dos hidrocarbonetos pelo poço de exploração. Em sequência, o fluido injetado é bombeado de volta pelo furo do poço, o chamado *flowback fluid*, que consiste em água turva, muito salgada e que contém argila, fragmentos de rochas, metais e produtos químicos propositalmente injetados para melhorar o desempenho do processo. O fluido resultante é armazenado em reservatórios superficiais onde será tratado para futura reutilização ou reinjetado em poços de descarte (Hirata, 2014; Jackson *et al.*, 2013; Johnson; Johnson, 2012).

No Brasil o potencial de produção de gás não convencional está na ordem de 4,4 trilhões de metros cúbicos. As principais reservas catalogadas são: a bacia do São Francisco, Parecis, Acre, São Luís, Parnaíba, Araripe, Recôncavo, Paraná e Tacutu (CTMA/PROMINP, 2016). No entanto, não há registros de exploração do não convencional no país, fato que justifica a relevância de pesquisas mais aplicadas concernentes a esse tema; afinal, os estudos técnicos são pautas cruciais para a viabilização operacional e legal do empreendimento. Apesar do crescimento evidente dos recursos não convencionais, não se pode olvidar que essa modalidade de extração gera passivos ambientais ainda difíceis de mensurar, principalmente por se tratar de uma técnica pouco explorada nacionalmente, tornando assim imprescindível o seu estudo científico (Hirata, 2014).

## **1.2 Possíveis impactos ambientais atrelados a exploração do gás não convencional**

A exploração do gás não convencional pode acarretar um influxo de metais pesados e compostos tóxicos aos corpos hídricos regionais, sejam eles subterrâneos ou superficiais (Almond *et al.*, 2014). A ocorrência e a concentração destes elementos, ainda que em baixas concentrações, podem motivar verdadeiros desastres ecossistêmicos e, por conseguinte, o monitoramento e uma profunda caracterização hidrogeoquímica, entre outras são fundamentais para manutenção da qualidade ambiental local (Rich & Crosby, 2013).

Neste contexto, Vengosh *et al.* (2014) discorre sobre quatro principais formas de contaminação de recursos hídricos oriundos do fraturamento hidráulico: 1- Contaminação de aquíferos pela migração do gás por fraturas pré-existentes ou através do escape lateral ao percorrer o caminho do furo criado (*stray gas*); 2- Contaminação dos recursos hídricos superficiais advindos do vazamento e da disposição inadequada dos reservatórios de tratamento dos *flowback fluids*; 3- *Stress* nos recursos hídricos regionais, devido a intensa demanda de água requerida pelo fraturamento hidráulico; 4- Fuga dos *flowback fluids* para as rochas não geradoras e aquíferos adjacentes.

Entende-se que os impactos associados ao fraturamento hidráulico não se

restringem aos recursos hídricos. Sem os cuidados ambientais necessários, o *fracking* também pode causar problemas como sismicidade induzida, emissão de gases de efeito estufa, interferência na fauna e flora e desestruturação da malha urbana.

### 1.3 Projeto GASBRAS

O GASBRAS é uma rede temática nacional de Pesquisa e Desenvolvimento envolvendo instituições federais, estaduais e não governamentais de todo país. O intuito é desenvolver conhecimentos científicos e tecnológicos de referência que propiciem a melhor forma do desenvolvimento da indústria do gás não convencional no Brasil. Este projeto é amparado financeiramente pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), sob a coordenação do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo (IEE-USP).

O núcleo de Minas Gerais (Rede GASBRAS-MG) é coordenado pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), tendo como coexecutores o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) e a Associação Instituto Internacional de Ecologia e Gerenciamento Ambiental (AIIEGA). A atuação dessas três instituições contempla os temas relacionados ao desenvolvimento de técnicas para avaliação ambiental e aos aspectos socioeconômicos, tendo definido uma bacia sedimentar para implementação metodológica da avaliação ambiental em uma potencial exploração do gás não convencional. A seleção da bacia de investigação fundamentou-se em ponderações relativas aos processos geológicos do gás não convencional. Nesta etapa fez-se necessário uma parceria com a Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) devido a existência de pesquisadores com expertise no tema. Desta forma, chegou-se ao consenso de que a Bacia do São Francisco ficaria definida como área de investigação e estudo.

### 1.4 Hidrocarbonetos não convencionais na bacia do São Francisco

O ambiente geológico do São Francisco possui significativos sistemas de gás não convencionais, tal como documentados pelo mundo. As ocorrências de exsudações de gás na região fazem com que a bacia seja alvo potencial de investigação de grandes *players* da exploração do gás. Atualmente estão disponíveis mais de 50 poços para pesquisas do gás não convencional no estado de Minas Gerais (REIS, 2011).

O histórico de pesquisa em gás no São Francisco pode ser subdividido em duas fases principais. A primeira fase abrange as décadas de 60 a 80 capitaneada por instituições públicas como a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Companhia de Desenvolvimento do Estado de Minas Gerais (CODEMIG), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e UFMG que fizeram exploração e avaliação econômica das reservas da bacia e uma estruturação técnico-ambiental para viabilizar futuros projetos de exploração. A segunda fase contou com a participação do setor privado, iniciada em 2005 após a quebra do monopólio do petróleo e encontra-se vigente até hoje (Reis, 2018). A fase atual caracteriza-se por uma estagnação parcial dos empreendimentos pois o Ministério

Público alegou a falta de estudos técnico-ambientais que assegurem uma exploração sem grandes efeitos deletérios aos ecossistemas locais. O potencial para gás natural do São Francisco em meio às incertezas regulatórias e os debates socioambientais fazem do local um laboratório ideal para a estruturação metodológica de *baselines* pré-operacionais à indústria do gás não convencional.

## 2 I PROPOSTA METODOLÓGICA PARA UMA ÁREA DE INVESTIGAÇÃO

### 2.1 Determinação de uma área

A área selecionada deve ser representativa pelo menos na escala sub-regional e faz-se necessário o conhecimento prévio da bacia sedimentar, assim como uma clareza parcial dos locais potenciais à implantação da indústria do gás não convencional. Deve-se preliminarmente considerar as variáveis inerentes à exploração do gás não convencional e suas possíveis potencialidades em provocar um *stress* nos recursos hídricos locais.

Sugere-se que uma área de investigação representativa em uma bacia sedimentar seja demarcada por características naturais como o limite de uma bacia hidrográfica ou uma unidade hidrogeológica. Esta área pode variar de algumas centenas a milhares de quilômetros quadrados, sendo necessário fazer a identificação dos aquíferos principais, as prováveis áreas de recarga/descarga, assim como uma verificação preliminar da qualidade e quantidade de água. A partir dos estudos preliminares são feitos estudos gerais através de inventário hidrológico e de monitoramento. Em seguida, dá-se início a investigação de campo com o enfoque na relação entre os recursos hídricos disponíveis, as áreas protegidas registradas, a biodiversidade, os aspectos socioeconômicos e a qualidade do ar. Não obstante, a etapa *in loco* demanda também as observações das áreas de exsudações do gás natural e de aspectos geológicos favoráveis a presença de hidrocarbonetos. A área deve ter representatividade na escala da bacia sedimentar analisada, procurando conciliar com a metodologia e a operacionalidade do monitoramento.

### 2.2 Levantamento de *Baseline*

Em muitos países produtores do gás não convencional esse levantamento e monitoramento é exigido para fundamentar levantamentos de longo prazo de impactos à poluição do ar, contaminação de recursos hídricos e a saúde humana. Este tipo de estudo envolve a coleta de dados para delinear o panorama ambiental antes da indústria que servirá como referência (comparação) para a avaliação dos impactos. Os *baselines* também agregam informações úteis para sustentar modelos conceituais e numéricos de simulação quanto à análise de risco de contaminação do meio ambiente.

O estabelecimento de *baselines* deve ser considerado como condição prévia para o início de um licenciamento da atividade de exploração e exploração de gás não

convencional. Especificamente o baseline dos recursos hídricos deve conter estudo em detalhe da vulnerabilidade intrínseca e específica (contaminantes da exploração do gás não convencional) dos aquíferos da região. Estes resultados fundamentarão a locação dos poços de exploração, o posicionamento dos reservatórios de tratamento de fluidos, bem como o delineamento de áreas carentes de preservação e monitoramento para manutenção da qualidade hídrica subterrânea. O levantamento de dados para o *baseline* deve ser abrangente em escopo e extensão, sendo capaz de distinguir claramente entre os futuros impactos da atividade do gás não convencional e impactos ambientais pré-existentes.

As informações ambientais bem como as socioeconômicas devem ser bem elaboradas através de apresentação do cenário atual ou mesmo da sua evolução dos impactos locais e regionais. Para tanto, deve-se utilizar de gráficos, tabelas e mapas temáticos, assim como quaisquer outros meios ilustrativos que se mostrem necessários e que estejam preferencialmente em um sistema de informações geográficas (SIG). Sabe-se que para distinguir o impacto do gás não convencional de outras pressões ambientais é necessário a aplicação de técnicas analíticas complexas. No caso dos recursos hídricos, exige que as amostras de águas subterrâneas sejam analisadas para uma ampla gama de parâmetros, incluindo, hidrocarbonetos, metais pesados, gases dissolvidos na água, isótopos estáveis C<sup>13</sup>, O<sup>18</sup>, H<sup>2</sup> e NORM (*Naturally Occurring Radioactive Materials*).

### 2.3 Radionuclídeos nas rochas geradoras e o potencial de gerar NORM

Os NORM's mais encontrados na natureza são os minerais contendo <sup>238</sup>U e o <sup>232</sup>Th, que através das suas séries de decaimentos dão origem a outros radionuclídeos, sendo o <sup>226</sup>Ra e <sup>228</sup>Ra os principais no que concerne à proteção radiológica e ambiental. Durante o fraturamento das rochas para a extração não convencional de gás pode ocorrer a liberação de NORM para o meio-ambiente transportados pelo *flowback fluid* até à superfície ou encrustados nas tubulações e equipamentos de superfície. Portanto, é importante que antes da extração de gás, se conheça bem as características das rochas geradoras e dos fluidos incorporados nas águas para o *fracking*.

Análises por difração de raios-X, fluorescência de raios-X, microscopia óptica e carbono orgânico total (COT) são algumas das possíveis análises pré-operacionais do gás não convencional a serem feitas nas rochas geradoras. Estas técnicas trazem informações pertinentes como fases minerais, composição química e aspectos físicos que ditam o comportamento ambiental frente a presença de contaminantes. Para a análise quantitativa da presença de radionuclídeos tanto nas rochas quanto nas águas de retorno, duas técnicas muito utilizadas são a alfa e beta total e a espectrometria gama. Esses tipos de análises fazem-se importantes no contexto da exploração de gás não convencional, pois possibilita um monitoramento das rochas e das águas quanto à potencial contaminação por NORM e aos impactos pós-operacionais das futuras formações de borras e incrustações nos equipamentos utilizados na exploração.

## 2.4 Divulgação e comunicação às partes interessadas e a participação da sociedade

O presente estudo anseia utilizar ferramentas de comunicação compatíveis com cada tipo de público, sendo capazes de esclarecer e orientar os envolvidos de forma transparente e correta. Os principais materiais de comunicação vistos como fundamentais para esse processo são vídeos, portal eletrônico, atlas, redes sociais e materiais gráficos. Estes conteúdos objetivam socializar o conhecimento científico por meio da oferta de informações seguras. O projeto tem como principal missão de divulgação, a criação de um Protocolo de Comunicação junto às comunidades locais e *stakeholders*, de modo a auxiliar a promoção da governança e permitir que a sociedade seja capaz de tomar suas próprias decisões sobre o processo de exploração e produção de recursos não convencionais, com segurança e confiabilidade.

## 3 | PERSPECTIVAS DE RESULTADOS PARA A BACIA DO SÃO FRANCISCO

### 3.1 Área de investigação

A bacia sedimentar escolhida pelo estudo foi a do São Francisco e, em sequência, definiu-se uma área de investigação representativa para elaboração dos *baselines*. Para tanto, foram definidas as seguintes premissas: (i) que a delimitação da área correspondesse aos limites de uma das sub-bacias sanfranciscana; (ii) que o local tivesse representatividade em escala regional; (iii) que houvesse uma área com evidências da presença do gás (exsudações) que justificasse uma provável implantação da indústria do gás não convencional; (iv) que fosse uma área com dados regionais disponíveis, em especial quanto a recursos hídricos, ao gás e os aspectos geológicos e (v) que fosse um local com viabilidade para realizar um inventário hidrológico significativo adicional.

Atendendo os requisitos supracitados, definiu-se como área de investigação as bacias hidrográficas dos rios Indaiá e Borrachudo (Figura 1). Diante da extensão da área (4.487 km<sup>2</sup>), o tempo reduzido da pesquisa, os recursos financeiros disponíveis e a operacionalidade do monitoramento, foi necessário restringir o estudo a uma única área piloto dentro da área de investigação para o enfoque da elaboração dos *baselines*. A escolha da Área Piloto I (444km<sup>2</sup>), ao norte da bacia do Rio Indaiá, se justifica pelos casos de exsudações de gases (em rio e em solo), pela menor densidade demográfica, além do seu menor grau de aproveitamento do uso e ocupação do solo.

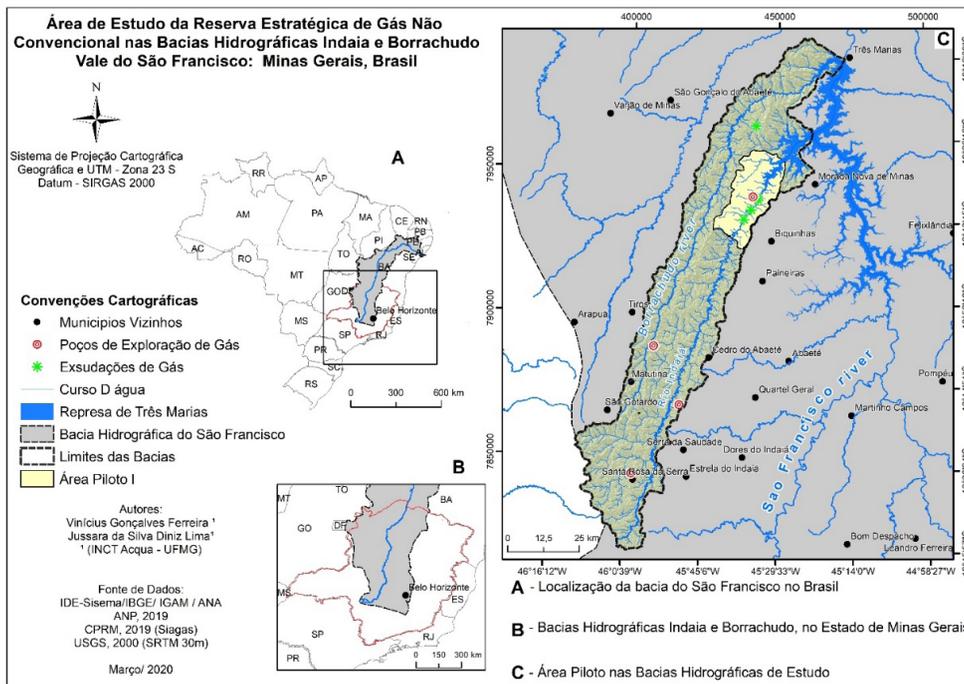


FIGURA 1 - Bacia do rio São Francisco e a localização da área de investigação como reserva estratégica de gás não convencional.

A Área Piloto I foi então selecionada para a realização de monitoramentos associados aos levantamentos bibliográficos da biodiversidade, recursos hídricos, gás, sedimento e rocha. Para o estabelecimento do *baseline* socioeconômico considerou-se a área de influência de uma possível implantação da indústria de gás não convencional, tomando os municípios de Morada Nova de Minas e Biquinhas como as infraestruturas urbanas de referência. Sabe-se que a área de influência pode variar de acordo com a amplitude do potencial empreendimento, podendo se estender até outras regiões, no entanto o presente estudo se ateve aos municípios próximos às bacias dos rios Indaia e Borrachudo.

### 3.2 *Baseline* e impactos ambientais e socioeconômicos

O levantamento de *baselines* de recurso hídrico, biodiversidade e socioeconômico na área de investigação objetiva a obtenção de informações no que tange a critérios ambientais e socioeconômicos. Assim, concatenou-se dados bibliográficos com os dados de campo (*in situ*) para a estruturação dos *baselines* da Área Piloto I.

O *baseline* da qualidade das águas subterrâneas e superficiais inclui as seguintes etapas: inventário dos pontos de água; levantamento das séries históricas dos parâmetros de interesse; etapas de amostragem; interpretação dos dados e estabelecimento das condições atuais quanto à qualidade das águas e cálculo da vulnerabilidade dos aquíferos

e de índices de qualidade das águas. Compondo o *baseline* de biodiversidade, o cadastro da fauna e da flora, friso a elaboração prévia de catálogos sobre espécies existentes no contexto da bacia do São Francisco, principalmente aquelas ameaçadas de extinção ou imunes ao corte (flora). Estes levantamentos são então sumarizados e tornam-se uma referência para nortear a investigação de campo. O conteúdo dos catálogos contempla a descrição das espécies, fotografias, os nomes científicos e populares, bem como os relatos e entrevistas com os moradores locais acerca da biota local.

A caracterização da paisagem e do relevo em campo é realizada com registro escrito e fotográfico dos principais locais de preservação, das ações antrópicas, dos aspectos de drenagens e erosões, assim como locais de intenso uso e ocupação do solo. Para tal investigação foi utilizado o mapa de uso da cobertura do solo (Mapbiomas). Para a confirmação da ocorrência de novas cavidades naturais é utilizado o levantamento periódico no Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas (CANIE) e Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV). Objetivou-se com isto, a disponibilização de um mapa de ocorrência, relevância e potencialidades das cavernas.

O *baseline* socioeconômico aplicado compilou dados sobre a história local, organização territorial, dinâmica econômica, educação, saúde, saneamento, transporte e segurança pública dos municípios de Morada Nova de Minas e Biquinhas. Para este *baseline* considerou-se também o diálogo direto com as autoridades e população local, gerando um material altamente acessível e de linguagem simples para esclarecer os resultados obtidos, assim como pontos positivos e negativos de uma eventual instalação de indústria de gás não convencional na região.

## 4 | CONCLUSÃO

A presente proposta metodológica apresentada contribui para o entendimento da pesquisa que o projeto GASBRAS desenvolve na bacia do *São Francisco*. O método de exploração de recursos não convencionais é relativamente novo no Brasil, e por isto, o projeto se dispõe como uma unidade de pesquisa e desenvolvimento que visa dispor esforços numa avaliação técnico-científica visando ponderar, mensurar e informar os possíveis riscos e potencialidades desta eventual indústria de gás na bacia do São Francisco. O levantamento dos *baselines* ambientais e socioambientais marcam o início de um extenso trabalho que será realizado preliminarmente a uma indústria do gás não convencional. Do exposto, será possível uma avaliação mais direcionada aos futuros impactos positivos e negativos de uma eventual indústria do gás não convencional no Brasil, com respostas precisas que assegure a integridade da população, dos recursos minerais, do patrimônio e que trace estratégias buscando minimizar impactos ambientais. Assim, será possível identificar o verdadeiro potencial desta fonte de energia conciliando aspectos ambientais e socioeconômicos, atrelados a um protocolo efetivo de comunicação.

## REFERÊNCIAS

ALMOND, S. et al. **The flux of radionuclides in flowback fluid from shale gas exploitation.** Environmental Science and Pollution Research, 2014

BOYER, C.; LEWIS, R.; MILLER, C. K. **Shale Gas : A Global Resource.** Oilfield Review, v. 23, p. 28–39, 2011.

CTMA; PROMINP. **Aproveitamento de Hidrocarbonetos Não Convencionais no Brasil.** 2016.

HIRATA, R. **Gás de folhelho no Estado de São Paulo: ainda não sabemos o suficiente para uma exploração ambientalmente segura.** Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBHPP), n. 1, p. 1–5, 2014.

JACKSON, R. E. et al. **Groundwater Protection and Unconventional Gas Extraction : The Critical Need for Field-Based Hydrogeological Research.** Groundwater, v. 51, n. 4, p. 488–510, 2013.

JOHNSON, E. G.; JOHNSON, L. A. **Hydraulic Fracture Water Usage in Northeast British Columbia : Locations, Volumes and Trends Hydraulic Fracture Water Usage in Northeast British Columbia : Locations, Volumes and Trends.** British Columbia Ministry of Energy and Mines, n. July, p. 41–63, 2012.

REIS, H. L. S. A. **Estratigrafia e Tectônica da Bacia do São Francisco na Zona de Emanações de Gás Natural do Baixo Rio Indaiá (MG).** Tese (Mestrado em Ciências Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, p. 73. 2011.

REIS, H. L. S. Gás natural. In: PEDROSA-SOARES, A. C.; VOLL, E.; CUNHA, E. C. (Eds.). **Recursos Minerais de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE), 2018. p. 1–39.

RICH, A. L.; CROSBY, E. C. **Analysis of Reserve Pit Sludge from Unconventional Natural Gas Hydraulic Fracturing and Drilling Operations for the Presence of Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material (Tenorm).** New Solutions, v. 23, n. 1, p. 117–135, 2013.

SANTOS, M. M.; MATAI, P. H. L. S. **A importância da industrialização do xisto brasileiro frente ao cenário energético mundial.** Revista Escola de Minas, v. 63, n. 4, p. 673–678, 2010.

U.S ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. **International Energy Outlook 2017.** Disponível em: <[www.eia.gov/ieo](http://www.eia.gov/ieo)>. Acesso em: 03 mar. 2020.

VENGOSH, A. et al. **A Critical Review of the Risks to Water Resources from Unconventional Shale Gas Development and Hydraulic Fracturing in the United States.** Environmental Science & Technology, 2014.

## RECIFES DA AMAZÔNIA: PERCEPÇÃO DA POPULAÇÃO DE MACAPÁ E DO OIAPOQUE - AMAPÁ, BRASIL

*Data de aceite: 01/03/2021*

*Data de submissão: 12/01/2021*

### **Janaina Freitas Calado**

Universidade do Estado do Amapá  
Macapá – Amapá

<http://lattes.cnpq.br/1338785057520974>

<https://orcid.org/0000-0002-7489-0080>

### **Fabrcio Leão Cardoso**

Universidade do Estado do Amapá  
Macapá – Amapá

<http://lattes.cnpq.br/5760040425907041>

**RESUMO:** Os recifes da Amazônia são um vasto sistema de carbonato que expõe leitos de rodólitos e outros organismos sendo firmemente colonizados por esponjas, invertebrados e peixes. Recentemente descrito, este ecossistema localiza-se nas proximidades de blocos de exploração de petróleo e tem sido tema de discussões entre atores sociais relacionados a indústria de petróleo, ambientalistas e cientistas. Apesar disso, a percepção das populações de cidades que podem ser beneficiadas com a exploração de petróleo, ou afetadas com os riscos inerentes à essa exploração, nunca foi sistematizada. Este trabalho busca verificar e comparar a percepção de três grupos sociais: residentes da cidade de Macapá, residentes da cidade de Oiaoque e estudantes universitários, sobre os recifes da Amazônia. Através de entrevistas semiestruturadas se identificou o perfil dos entrevistados, avaliou-se o grau de

conhecimentos dos mesmos sobre ecossistemas recifais e sua percepção sobre a exploração de petróleo na área. Além disso, analisou-se a relação entre as variáveis grupo, sexo, idade, escolaridade e renda com o grau de conhecimento e atitudes pró-ambientais dos entrevistados. Foram entrevistadas 255 pessoas com idade entre 8 e 64 anos. De maneira geral, os entrevistados sabem da existência dos recifes da Amazônia, mas não compreendem de forma detalhada seu funcionamento e sua importância socioambiental. O grupo do Oiaoque apresentou-se favorável à exploração do petróleo na área, mesmo afirmando compreender os riscos de um possível derramamento de óleo. As pessoas com escolaridade mais elevada apresentaram um conhecimento mais detalhado e preciso sobre os recifes da Amazônia, além disso, elas foram mais ponderadas ao analisar o custo-benefício da exploração de petróleo na foz do rio Amazonas. Este diagnóstico pode atuar como um ponto de partida na compreensão da importância que a população local dá aos ambientes recifais e como a mesma compreende a possível exploração de petróleo próximo a esses ecossistemas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Grande sistema recifal da bacia amazônica, Exploração petrolífera, Percepção ambiental.

### AMAZON REEF: THE PERCEPTION OF THE POPULATION OF MACAPÁ AND OIAOQUE – AMAPÁ, BRAZIL

**ABSTRACT:** The Amazon reef is an extensive carbonate system that exposes beds of rhodoliths and other organisms and is firmly colonized

by sponges, invertebrates and fish. Recently described, this ecosystem is located near oil exploitation blocks and has been the subject of discussions among stakeholders related to the oil industry, environmentalists, and scientists. Nevertheless, the perception of the population of cities that can benefit from oil exploitation or be affected by the risks inherent to that exploitation, has never been systematized. This paper aims to verify and compare the perception of three social groups: residents of Macapá city, residents of Oiapoque city and university students, regarding the Amazon reef. Through semi-structured interviews, the profiles of the interviewees were identified, then their degree of knowledge about reef ecosystems and their perception of oil exploitation in the area were assessed. In addition, the relationship between the variables group, gender, age, education, and income was analyzed along with the degree of knowledge and pro-environmental attitudes of the interviewees. In total, 255 people from 8 to 64 years old were interviewed. In general, the interviewees are aware of the Amazon reef's existence, but do not understand, in detail, their functioning and their socio-environmental importance. The group from Oiapoque was in favor of oil exploitation in the area, even affirming they know the risks of a possible oil spill. People with higher education had more detailed and accurate knowledge about the Amazon reef as well as they were more thoughtful when analyzing the cost-benefit of oil exploitation at the mouth of the Amazon river. This diagnosis can act as a starting point in understanding the importance that the local population gives to reef environments and how they see the possibility of oil exploitation close to these ecosystems.

**KEYWORDS:** Great Amazon Reef System, Oil exploitation, Environmental perception.

## 1 | INTRODUÇÃO

Ambientes recifais concentram a maior biodiversidade dos oceanos (ADEY, 2000) e também se destacam entre os ecossistemas marinhos que fornecem uma variedade de bens e serviços à humanidade (MOBERG; FOLKE, 1999). Mesmo com sua importância econômica e ecológica, áreas recifais em todo o mundo estão sujeitas a uma série de impactos globais e locais (HUGHES *et al.*, 2017).

No Brasil, os ambientes recifais tropicais se estendem por mais de 3.000 km entre a costa do Amapá e o sul da Bahia (FERREIRA; MAIDA, 2006; MOURA *et al.*, 2016), com características únicas, como o tipo de crescimento, aspectos morfológicos, fauna construtora do recife e ambiente deposicional (LEÃO *et al.*, 2003). Os recifes brasileiros caracterizam-se pela baixa cobertura coralínea, elevado endemismo de espécies de corais em zonas com alto aporte de sedimentos, resultantes da desembocadura de grandes rios e erosão costeira (CASTRO; PIRES, 2001).

Recentemente, a descrição de um complexo e extenso ambiente recifal localizado na foz do rio Amazonas, surpreendeu o mundo científico (MOURA *et al.*, 2016). Conhecido como o grande sistema recifal do Amazonas (*Great Amazon Reef System* – GARS), este vasto sistema de carbonato ocorre debaixo da pluma de sedimentos do rio Amazonas e expõe leitos de rodólitos e outros organismos sendo firmemente colonizadas por esponjas, invertebrados e peixes (FRANCINI-FILHO *et al.*, 2018).

A evidência científica da existência destes recifes não é tão recente, na década de 1970 o estudo de Collette e Rützler (1977) já indicava a relação entre peixes recifais e esponjas na foz do rio Amazonas. Contudo, a descrição de Moura et al. (2016) mostra como a dinâmica da pluma afeta a biota marinha, indica que a produtividade primária pode advir de microorganismos que realizam quimiossíntese e que esponjas e rodólitos podem fornecer complexidade estrutural para abrigar a diversa fauna existente. As singularidades deste sistema o tornam único no planeta e não é especulativo afirmar que o mesmo desempenha uma importante função ecológica e pode ser um fluxo de espécies recifais que transitam entre o Caribe e a costa brasileira (ROCHA, 2003), além de manter populações de importância econômica com lagostas e peixes (HAIMOVICI; KLIPPEL, 1999) e com potencial para biotecnologia (THOMPSON *et al.*, 2018).

Apesar do exposto, este ambiente já se encontra ameaçado. Atualmente a Petrobrás e a britânica *British Petroleum* (BP) possuem blocos de exploração nas proximidades dos recifes. Em setembro de 2020, a empresa francesa TOTAL renunciou o papel de operador dos blocos exploratórios, que foram assumidos pela Petrôbras (PHELIPE, 2020).

O Amapá é o estado mais próximo aos blocos exploratórios de petróleo (BP, 2017), porém, à luz de descobertas tão recentes, não há registros sobre o conhecimento e percepção da população do Amapá sobre ambientes recifais e os possíveis conflitos de conservação e exploração que podem vir a existir. O presente trabalho busca suprir essa carência, ao apresentar resultados da percepção da população de Macapá e do Oiapoque sobre os recifes da Amazônia, ao identificar grupos sociais mais carentes de informações e subsidiar ações de educação ambiental, a fim de expor a importância dos recifes da Amazônia para sociedade em geral e despertar da cultura oceânica.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no estado do Amapá, Brasil, nos municípios de Macapá e Oiapoque. Macapá é a capital do estado e está situada na latitude 00° 02' 18.84" N, longitude 51° 03' 59.10"W. Sua população estimada em 2018 é de 493.634 habitantes, com proporção semelhante de homens e mulheres (IBGE, 2018). O município do Oiapoque localiza-se a 550 km da capital Macapá e está situado na parte mais setentrional do estado (Latitude: 03° 50' 35" N, Longitude: 51° 50' 06" W), fazendo fronteira com a Guiana Francesa. Sua área territorial é de 22.625,286 km<sup>2</sup>, com população estimada de 26.627 habitantes (IBGE, 2018).

A cidade do Oiapoque foi selecionada por ser o local mais próximo dos blocos de exploração de petróleo e Macapá por concentrar a maior parte da população do estado (IBGE, 2018). Em ambas cidades houveram audiências públicas para discussão sobre a possibilidade de concessão de licença ambiental para realização da prospecção de petróleo

nos blocos exploratórios (QUEIROZ GALVÃO, 2017).

## 2.2 Coleta de dados

Foram definidas três áreas de amostragem: (1) centro da cidade de Macapá; (2) centro da cidade de Oiapoque e (3) Universidade do Estado do Amapá, localizada em Macapá. Em cada área, pessoas acima de 18 anos que transitavam no local foram convidadas a participar da entrevista. Estas ocorreram entre 8 e 17 horas em 16 dias durante os meses de junho e julho no ano de 2018. Os entrevistados responderam perguntas sobre idade, sexo, local de residência, número de pessoas nas residências, renda familiar e escolaridade. Além disso, a entrevista abordou questões referentes ao conhecimento ecológico e a importância dos recifes da Amazônia, bem como o posicionamento do entrevistado sobre a eventual exploração de petróleo nesse ecossistema. Em duas questões da entrevista utilizou-se imagens como subsídio para obtenção da resposta. Na primeira pergunta exibiu-se fotos dos recifes da Amazônia e em outra pergunta um mapa com a localização dos recifes e dos blocos de exploração de petróleo.

## 2.3 Análise dos dados

Os dados foram tabulados no programa Excel e os grupos foram analisados através de estatística descritiva. Os dados sobre os conhecimentos e atitudes foram categorizados e valorados, assim cada resposta que esboçou conhecimento e atitude pró-ambiental foi pontuada. A diferença da pontuação média entre as variáveis socioeconômicas de cada grupo foi analisada separadamente, por meio de estatística não-paramétrica. Para comparações entre dois fatores, usou-se o teste de Mann-Whitney, para comparações entre três ou mais fatores, o teste de Kruskal-Wallis (ZAR, 2010). Esses testes foram realizados no programa Past versão 2.17 (HAMMER et al., 2001). A relação da pontuação média com a idade avaliadas através da observação de diagramas de dispersão e coeficientes de correlação ( $r$ ).

## 2.4 Aspectos Legais

A pesquisa foi submetida e aprovada na Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP) através da Plataforma Brasil, sendo o mesmo avaliado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Amapá (CAAE 00707018.6.0000.0003).

# 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 3.1 Perfil dos entrevistados

Foram entrevistadas 255 pessoas, sendo 85 pessoas de Macapá, 79 do Oiapoque e 91 da Universidade (Tabela 1). A variação no número amostral dos grupos reflete o grau de facilidade da coleta de dados nos diferentes ambientes, contudo, essa não-uniformidade das amostras não impedem a realização de comparações confiáveis (ZAR, 2010).

| INFORMAÇÃO<br>N = 255      | VARIÁVEL                               | PORCENTAGEM % |          |              |
|----------------------------|--|---------------|----------|--------------|
|                            |  | MACAPÁ        | OIAPOQUE | UNIVERSIDADE |
| <b>SEXO</b>                | MASCULINO                              | 44,7          | 48,1     | 42,9         |
|                            | FEMININO                               | 55,3          | 51,9     | 57,1         |
| <b>IDADE</b>               | MÍN - MÁX                              | 18 – 63       | 18 - 64  | 18 - 40      |
|                            | MÉDIA                                  | 28 anos       | 31 anos  | 24 anos      |
| <b>ESCOLARIDADE</b>        | FUNDAMENTAL COMPLETO                   | 12,9          | 27,8     | 0,0          |
|                            | FUNDAMENTAL INCOMPLETO                 | 7,1           | 12,7     | 0,0          |
|                            | MÉDIO INCOMPLETO                       | 0,0           | 8,9      | 0,0          |
|                            | MÉDIO COMPLETO                         | 35,3          | 26,6     | 0,0          |
|                            | SUPERIOR INCOMPLETO                    | 24,7          | 20,3     | 93,4         |
|                            | SUPERIOR COMPLETO                      | 20,0          | 3,8      | 6,6          |
| <b>RENDA FAMILIAR</b>      | < DE UM SALÁRIO MÍNIMO(R\$954,00)      | 15,3          | 8,9      | 13,2         |
|                            | UM SALÁRIO MÍNIMO                      | 16,5          | 22,8     | 28,6         |
|                            | ENTRE 2 - 4 SM (R\$ 960,00 - 3.819,00) | 60,0          | 60,8     | 36,3         |
|                            | ACIMA DE R\$3.820,00                   | 8,2           | 7,6      | 22,0         |
| <b>LOCAL DE NASCIMENTO</b> | MACAPÁ - AP                            | 68,2          | 57,0     | 62,6         |
|                            | PARÁ                                   | 25,9          | 19,0     | 34,1         |
|                            | OIAPOQUE - AP                          | 0,0           | 11,4     | 0,0          |
|                            | MARANHÃO                               | 2,4           | 7,6      | 0,0          |
|                            | OUTROS ESTADOS DO BRASIL               | 3,6           | 2,6      | 3,3          |
|                            | INTERIOR DO AMAPÁ                      | 0,0           | 2,6      | 0,0          |

Tabela 1: Perfil dos entrevistados. Porcentagem por grupo e por variável.

A proporção entre homens e mulheres foi semelhante nos três grupos estudados, com um número superior de mulheres entrevistadas em todas as áreas e de forma mais evidente no grupo Universidade. A idade média variou como esperado entre os grupos, uma vez que o grupo Universidade tem maior chance de ser mais jovem. A escolaridade foi uma variável que também apresentou diferenças entre os grupos. O grupo Oiapoque apresentou níveis de escolaridade mais baixo, uma vez que o ensino superior é ofertado no município há poucos anos. Com relação à renda, observou-se concentração dos grupos Macapá e Oiapoque na categoria “entre 2 e 4 salários mínimos”. No grupo Universidade, apesar de 36% também estarem na categoria “entre 2 e 4 salários mínimos”, houve uma distribuição mais uniformes dos entrevistados entre as demais categorias. O local de nascimento da maioria dos entrevistados foi Macapá ou municípios do estado do Pará, e

11,4% dos entrevistados do Oiapoque nasceram no próprio município.

### 3.2 Conhecimentos sobre os Recifes da Amazônia

De maneira geral, os grupos estudados mostraram conhecimento sobre os recifes da Amazônia, sua importância e as possíveis ameaças que a exploração de petróleo na área pode trazer. Quando exposta uma imagem dos recifes da Amazônia, a maioria dos entrevistados em Macapá e Oiapoque sugeriram que a imagem se tratava do fundo do mar ou oceano. Já o Grupo da Universidade foi mais preciso, em sua maioria definindo a imagem como um recife de corais (Figura 1).

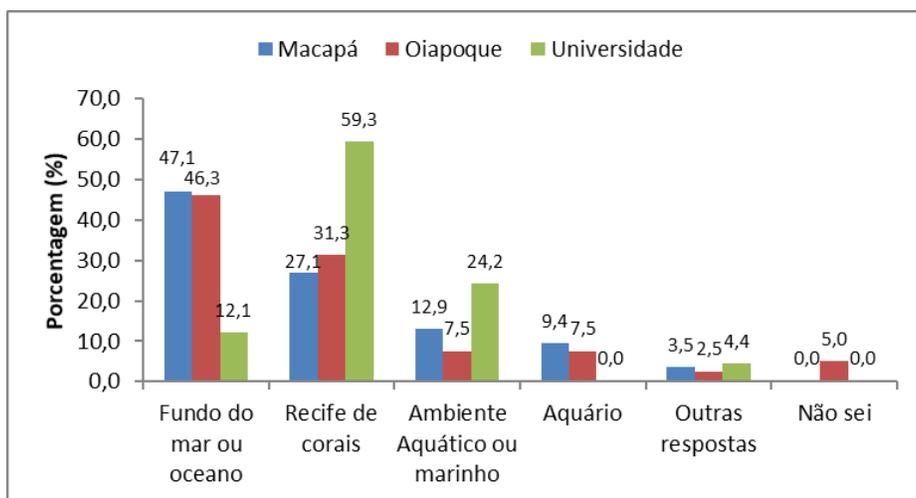


Figura 1 - Definição dos entrevistados sobre uma imagem dos recifes da Amazônia.

Entre os universitários, 90% afirmaram já ter ouvido falar dos recifes da Amazônia, diferente dos grupos de Macapá (53%) e do Oiapoque (45%). Quando se realizou uma pergunta semelhante a anterior, os resultados foram um pouco diferentes, com redução em todos os grupos da resposta afirmativa. Isso indica que as pessoas que conhecem o recife da Amazônia não têm informações precisas a respeito o mesmo. Considerando que os entrevistados não têm relação direta com o recife e que a descrição deste ecossistema e repercussão midiática foi recente (MOURA *et al.*, 2016), é esperada a imprecisão.

Os entrevistados dos grupos Macapá (47,1%) e Oiapoque (41,3%) não souberam citar a importância dos recifes, enquanto que no grupo Universidade todos os entrevistados indicaram alguma importância desses ecossistemas, com maiores citações com relação a manutenção do equilíbrio ecológico e dos ecossistemas (33%), abrigo ou alimento para peixes (25,3%), manutenção e preservação de espécies (16,5) e produção de riqueza local (16,5%).

Ainda sobre a importância dos ambientes recifais, duas questões buscaram

investigar a percepção dos entrevistados quanto a importância dos recifes para os recursos pesqueiros e para o rio Amazonas. As respostas de ambas perguntas tiveram um resultado semelhante com a maioria dos entrevistados indicando que a importância é alta. Para o grupo do Oiapoque, a importância do recife para os recursos pesqueiros é média (32,5%), assim como é média a importância para o rio Amazonas (40%).

Quando questionados sobre sua disposição a ajudar a conservar os recifes da Amazônia, nenhum dos entrevistados se recusou. As respostas 'sim' foram 78,8% em Macapá, 87,5% em Oiapoque e 93,4% do grupo Universidade. Respostas "Talvez" totalizaram 21,2%, 12,5% e 6,6%, respectivamente.

De maneira geral, o grupo Universidade apresentou um maior consenso em suas respostas e um conhecimento mais preciso sobre os recifes da Amazônia. Esse fator pode estar relacionado especialmente a escolaridade e a recentes campanhas realizadas pela Organização Não-Governamental ambientalista Greenpeace, realizada nas proximidades da Universidade do Estado do Amapá, onde foi realizado este estudo.

A compreensão da população do Amapá, especialmente de sua zona costeira, sobre a importância dos ambientes recifais é crucial para que mesma possa intervir e proteger suas riquezas naturais. No levantamento de Moura e colaboradores (2016) foram identificadas 34 espécies de algas, 61 espécies de esponjas, 40 espécies de cnidários (incluindo corais negros, octocorais e corais escleractíneos), 73 espécies de peixes e registros de outros invertebrados como, crustáceos, equinodermos e moluscos na área. Estima-se que a pesquisa tenha amostrado apenas 5% do recife, o que indica a possibilidade de ampliação no número de espécies encontradas. Informação suportada pelo crescente número de publicações envolvendo os recifes da Amazônia (FRANCINE-FILHO *et al.*, 2018; NEUMANN-LEITÃO *et al.*, 2018; THOMPSON *et al.*, 2018; MAHIQUES *et al.*, 2019; SALES *et al.*, 2019; SANTANA *et al.*, 2020).

É importante destacar que mesmo sendo recém descrito, este ecossistema já está submetido a diversas ameaças, entre elas: a poluição, sobrepesca, aquecimento global e acidificação dos oceanos. Além desses, uma ameaça bastante preocupante para os ambientalistas é a exploração de petróleo na foz do rio Amazonas pelos possíveis impactos ambientais que um vazamento de petróleo pode provocar, alterando processos ecológicos ainda pouco estudados (SILVA JUNIOR; MAGRINI, 2014; FRANCINI-FILHO *et al.*, 2018).

### 3.3 Percepção sobre a exploração petrolífera

A maioria dos entrevistados do grupo Universidade (90%) tem conhecimento sobre o interesse de exploração de petróleo na foz do rio Amazonas. Em Macapá e no Oiapoque esse percentual de respostas afirmativa cai para 67,1% e 61,3%, respectivamente. A maioria dos entrevistados de Macapá e do grupo Universidade são contra a exploração de petróleo na foz do rio Amazonas, já no grupo Oiapoque, a maioria das pessoas é a favor (Figura 2).

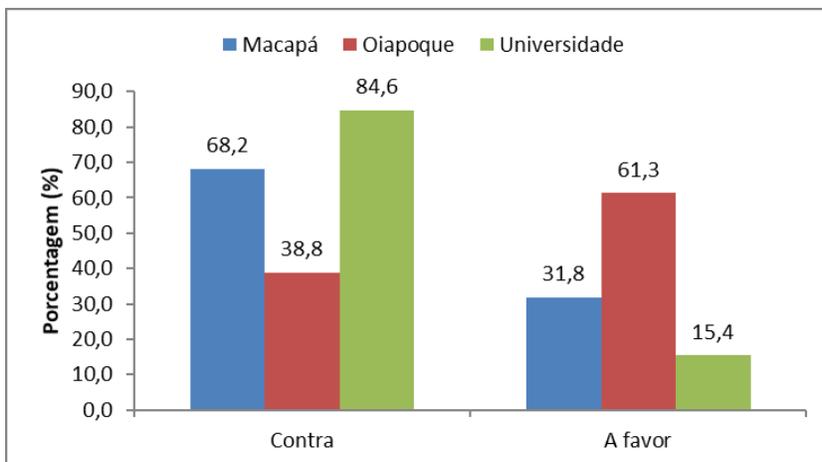


Figura 2–Posicionamento dos entrevistados sobre ser contra ou a favor da exploração de petróleo na Foz do Rio Amazonas.

Apesar do resultado anterior, 65% dos entrevistados do Oiapoque consideram que a exploração de petróleo pode trazer riscos para os recifes da Amazônia, percepção semelhante para Macapá e Universidade (Figura 3).

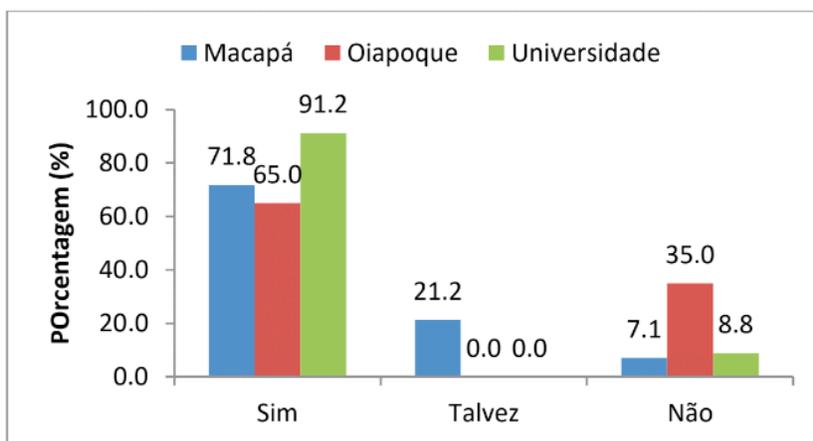


Figura 3 - Percepção dos entrevistados sobre a existência de riscos para os recifes da Amazônia durante a possível exploração de petróleo.

Segundo os entrevistados os principais benefícios gerados pela exploração de petróleo são o desenvolvimento econômico e empregos, citado por 67,1% dos entrevistados em Macapá, 62,5% no Oiapoque e 38,5% no grupo Universidade. Consideram que a atividade não trará nenhum benefício 29,4% do grupo de Macapá, 37,5% do Oiapoque

e 35,2% da Universidade. Outras respostas que envolviam *royalties*, infraestrutura e capacitação para população somaram 3,5% para Macapá e 22% para Universidade.

Para todos os grupos houve a percepção que um possível derramamento de óleo trará prejuízos para o Amapá (91,8% em Macapá, 91,3% em Oiapoque e 97,8% no grupo Universidade). Vale destacar que o interesse da indústria do Petróleo na foz do rio Amazonas não é recente, há registro de prospecção de poços desde da década 1970, onde foi encontrada uma acumulação de gás, considerado sub-comercial na época (SOUZA JR., 1991).

### 3.4 Perfil socioeconômico e conhecimento e atitudes pró-ambientais

Nos resultados da relação entre fatores socioeconômicos e a pontuação obtida pelo somatório das questões de conhecimento e atitudes pró-ambientais, observou-se que apenas os fatores Grupo (Figura 4) e Escolaridade (nos grupos Macapá e Oiapoque) foram determinantes (Figura 5). Os demais fatores (sexo, idade e renda) não influenciaram nos valores da pontuação.

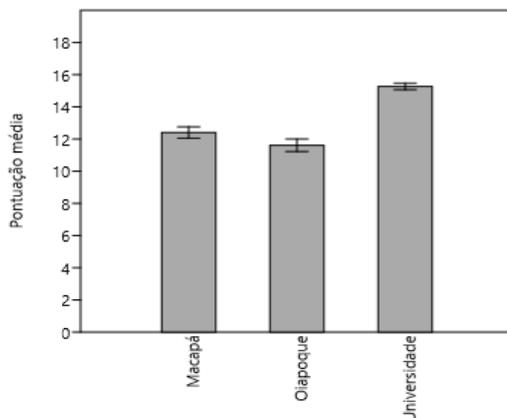


Figura 4 – Pontuação média obtida através do conhecimento e atitudes pró-ambientais dos entrevistados de cada Grupo: Macapá, Oiapoque e Universidade sobre os recifes da Amazônia (Kruskal-Wallis,  $H = 59,56$ ,  $p < 0,01$ ).

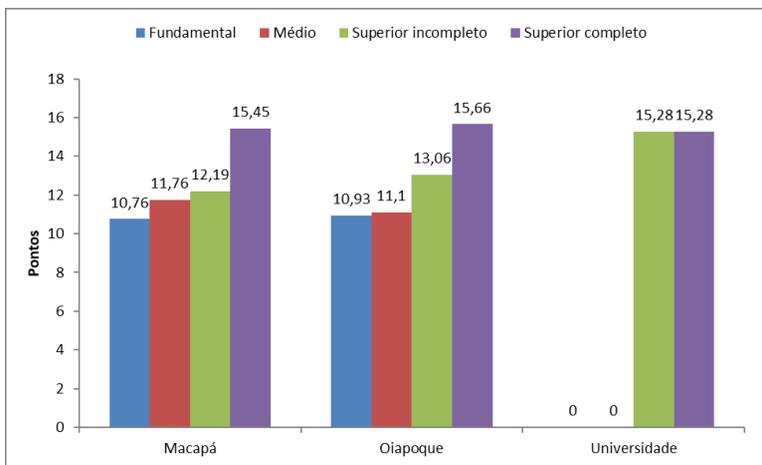


Figura 5 –Relação entre a escolaridade e a diferença da pontuação média obtida através do conhecimento e atitudes pró-ambientais dos entrevistados sobre os recifes da Amazônia. Macapá (Kruskal-Wallis,  $H=23,63$ ,  $p<0,01$ ), Oiapoque (Kruskal-Wallis,  $H=9,051$ ,  $p=0,02$ ), Universidade (Mann-Whitney,  $H=0,049$ ,  $p>0,05$ ).

Outros estudos apontam que o baixo nível de escolaridade é um dos elementos que influenciou para o risco de intoxicações por agrotóxicos devido a necessidade de entendimento capaz de interpretar recomendações de segurança inclusa nos rótulos (AGOSTINETTO *et al.*, 1998; OLIVEIRA-SILVA *et al.*, 2001; FARIA *et al.*, 2000). Foi encontrado esse padrão no estudo de Carvalho e colaboradores (2004), que versa sobre a associação da escolaridade com o conhecimento da forma de transmissão das doenças como a dengue.

O destaque do grupo Universidade está relacionado à escolaridade, como observado no perfil dos entrevistados e nos resultados descritos. Esse padrão era esperado, uma vez que esse grupo está em processo de formação, o que os deixa mais próximos de informações científicas e discussões cotidianas de temas atuais. Além disso, em diversos cursos de nível superior o tema em questão é um assunto que pode vir à tona, especialmente cursos da área ambiental. Para os demais grupos, as respostas diversificadas estão ligadas a recente visibilidade da existência do recife e às discussões com setores da indústria do petróleo que polarizam opiniões, inclusive com questionamentos de alguns cientistas sobre a inexistência dos recifes (FIGUEIREDO, 2018; FIEPA, 2018; OLIVEIRA, 2018).

A população amapaense que em sua maioria tem um grande sentimento de pertencimento à floresta e ao rio Amazonas, pode não conhecer de forma profunda os ambientes recifais, mas este ecossistema está mais próximo do que muitos imaginam. Para isso o primeiro passo é compreender o que essa população conhece de um ambiente tão “novo”. Trabalhos acerca da percepção ambiental são indispensáveis, pois podem fazer um diagnóstico da carência do conhecimento de um objeto de estudo estabelecido, e por meio

deste, construir programas de educação ambiental direcionados (FERNANDEZ, 2004).

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, os entrevistados desta pesquisa sabem da existência dos recifes da Amazônia, mas não compreendem de forma detalhada seu funcionamento e sua importância socioambiental. Muitos são favoráveis a exploração do petróleo na área, mesmo sabendo dos riscos e possuem uma percepção utilitarista do meio ambiente, isso foi observado especialmente para o grupo do Oiapoque. Os entrevistados com escolaridade mais elevada apresentaram um conhecimento mais detalhado e preciso sobre os recifes da Amazônia, além disso, eles foram mais ponderados ao analisar o custo-benefício da exploração de petróleo na foz do rio Amazonas.

Os resultados deste estudo sugerem que os esforços em educação ambiental sejam focados em pessoas com menor escolaridade, especialmente os residentes no interior do estado do Amapá. Para mobilização de multiplicadores e formação de atores sociais atuantes, o grupo formado pelos universitários apresentam características potenciais. Este diagnóstico pode atuar como um ponto de partida na compreensão da importância que a população local dá aos ambientes recifais. Além disso, é relevante entender como a população lida com a possível exploração de petróleo, para que então possa se ter uma base para gerar campanhas educativas que abordem os pontos positivos e negativos da atividade, promovendo uma educação ambiental crítica e despertar da cultura oceânica.

## REFERÊNCIAS

ADEY, W. H. Coral reef Ecosystems and Human Health: Biodiversity Counts. **Ecosystem Health**, v. 6, n. 4, p. 227-236, dez. 2000.

AGOSTINETTO, D. *et al.* Utilização de equipamentos de proteção individual e intoxicação por agrotóxicos entre fumicultores do Município de Pelotas-RS. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 8, 1998.

BP - British Petroleum. **Relatório de Impacto Ambiental Bloco de Operações Foz do Rio Amazonas**. 2017.

CARVALHO, M. A. *et al.* Conhecimento da população sobre transmissão e medidas de prevenção para dengue e febre amarela. **Revista Médica de Minas Gerais**, Belo Horizonte, v. 14 n. 1, p. 08 – 12, jan./mar. 2004.

CASTRO, C. B.; PIRES, D. O. Brazilian coral reefs: what we already know and what is still missing. **Bulletin of Marine Science**, v. 69, n. 2, p. 357-371, 2001.

COLLETTE, B. B.; RÜTZLER, K. Reef fishes over sponge bottoms off the mouth of the Amazon River. **In: Third International Reef Symposium**. Vol. Proceedings, p. 305-310, 1977.

FARIA, N. M. X. *et al.* Processo de produção rural e saúde na serra gaúcha: um estudo descritivo. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 16, p. 115-128, 2000.

FERNANDES, R. S. Percepção ambiental como instrumento pedagógico de aprimoramento do conhecimento ambiental em instituições de ensino. **Ecoterra Brasil**, Curitiba, PR, Brasil. 2004. Disponível em: <http://www.ecoterrabrasil.com.br/home/index.php?pg=temas&tipo=temas&cd=86#>. Acesso em 08 jun 2018.

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil: Situação Atual e Perspectivas**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: MMA. 250 p. 2006.

FIIPA – Federal das Indústrias do Estado do Pará. Estudo da Greenpeace sobre Corais da Amazônia é falso, dizem especialistas. Disponível em: <https://www.fiipa.org.br/post/estudo-da-greenpeace-sobre-corais-da-amazonia-e-falso-dizem-especialistas>. Acesso em: 19 de Dez de 2018.

FIGUEIREDO, A.G. **In 49 Congresso de Geologia** (ed. Sociedade Brasileira de Geologia) Sociedade Brasileira de Geologia, Rio de Janeiro, 2018.

FRANCINI-FILHO, R.B. *et al.* Perspectives on the Great Amazon Reef: Extension, Biodiversity and Threats. **Frontiers in Marine Science**, v. 5, 2018.

HAIMOVICI, M.; KLIPPEL, S. **Diagnóstico da Biodiversidade dos Peixes Teleósteos Demersais Marinhos e Estuarinos do Brasil**. PROBIO/Fundação Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande. 1999.

HAMMER, Øyvind; HARPER, David AT; RYAN, Paul D. Past: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. **Paleontologia Electronica**, v. 4, n.1, 2001.

HUGHES, T. P. *et al.* Coral Reefs in the Anthropocene. **Nature**, v. Volume: 546, p. Pages: 82- 90, 2017

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e/>. Acesso em 20 nov. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Parecer Técnico** nº 215/2018-COEXP/CGMAC/DILIC. Atividade de Perfuração Marítma nos Blocos FZA-M-57, FZA-M-86, FZA-M-125, FZA-M-127, Bacia da Foz do Amazonas. 10p. 2018.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; TESTA, V. Corals and coral reefs of Brazil. Pp. 9-52. In: J. Cortés (Ed.). **Latin American Coral Reefs**. Elsevier, San Pedro, Costa Rica. 45 p. 2003.

MAHIQUES, M. M. *et al.* Insights on the evolution of the living Great Amazon Reef System, equatorial West Atlantic. **Scientific Reports**, v. 9, n. 13699, 2019. DOI 10.1038/s41598-019-50245-6. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50245-6>. Acesso em dez. 2019.

MOBERG, F.; FOLKE, C. Ecological goods and services of coral reefs ecosystems. **Ecological Economics**, v.29, p.215-233. 1999.

MOURA, R. L. *et al.* An extensive reef system at the Amazon river mouth. **Science advances**. v. 2, n. 4, p. 1-11, 2016.

NEUMANN-LEITÃO, S. *et al.*, Zooplankton From a Reef System Under the Influence of the Amazon River Plume. **Frontiers In Marine Science**, [s. l.], v. 9, n. 355, 2018.

OLIVEIRA, G. Estudo sobre corais no Amapá é falso, dizem especialistas. Disponível em: <[https://selesnafes.com/2018/12/estudo-sobre-corais-no-amapa-e-falso-dizem especialistas/](https://selesnafes.com/2018/12/estudo-sobre-corais-no-amapa-e-falso-dizem-especialistas/)>. Acesso em 19 de Dez. de 2018.

OLIVEIRA-SILVA, J. J. *et al.* Influência de fatores socioeconômicos na contaminação por agrotóxicos, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 35, n. 2, p.130-135, 2001.

PHELIPE, A. Petrobras assumirá a exploração dos blocos na Foz do Rio Amazonas. **O Eco**, Lençóis Paulista, 29 set. 2020. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/noticias/petrobras-assumira-a-exploracao-dos-blocos-na-foz-do-rio-amazonas/?fbclid=IwAR3PU5xNNqFcCwzMnEwwESNyRiCXdUS-WQ1Wct00yweNEdOiXUql2IVV02c>. Acesso em: 10 out. 2020.

QUEIROZ GALVÃO. **Meio ambiente e Sociedade**. Disponível em: <<http://www.qgep.com.br/static/ptb/bacia-da-foz-do-amazonas.asp?idioma=ptb>>. Acesso em: 24 Jan. 2018.

ROCHA, L. A. Patterns of distribution and processes of speciation in Brazilian reef fishes. **J. Biogeogr.**, v. 30, p. 1161–1171, 2003. DOI: 10.1046/j.1365-2699.2003.00900.x

SALLES, J. B. *et al.* Surveying cephalopod diversity of the Amazon reef system using samples from red snapper stomachs and description of a new genus and species of octopus. **Scientific Reports**, v. 9, n. 5956, 2019. DOI 10.1038/s41598-019-42464-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42464-8>. Acesso em set. 2019.

SANTANA, C. S. *et al.* Amazon river plume influence on planktonic decapods in the tropical Atlantic. **Journal of Marine Systems**, v. 212, n. 103428, 2020. DOI 10.1016/j.jmarsys.2020.103428. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.103428>. Acesso em dez. 2020.

SILVA JUNIOR, O. M.; MAGRINI, A. Exploração de hidrocarbonetos na foz do rio Amazonas: perspectivas de impactos ambientais no âmbito das áreas ofertadas na 11<sup>o</sup> rodada de licitações da agência nacional do petróleo. **Revista GeoAmazônia**, v. 2, n. 04, p. 159-172, 2014.

SOUZA JR, A. B. **A indústria de petróleo e seus impactos ambientais na região Amazônica - Estudo de caso: Urucu e Juruá**. 1991, 141p, Tese de Doutorado, Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1991.

THOMPSON, F. *et al.* Marine Biotechnology in Brazil: Recent Developments and Its Potential for Innovation. **Frontiers In Marine Science**, v. 5, n. 236, jul. 2018. DOI 10.3389/fmars.2018.00236. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00236>. Acesso em dez. 2018.

ZAR, J. H. 2010. **Biostatistical Analysis**. 5th Edition. Pearson Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.944 p.

## **SOBRE A ORGANIZADORA**

**FERNANDA PEREIRA MARTINS** - É Bacharel e Licenciada em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Ciências Integradas do Pontal (2010). Em 2014 obteve o título de Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia, com discussões no campo da Pedologia e Geomorfologia em áreas úmidas de Chapada. No ano de 2018 concluiu o Doutorado em Geografia pelo Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, no qual se dedicou ao estudo da evolução de longo termo das paisagens de chapadas no Brasil, bem como às discussões no campo da legislação ambiental e proteção dessas geoformas. Trabalhou em projetos para o Ministério Público de Minas Gerais, auxiliando em levantamentos de campo para delimitação e proteção ambiental de áreas susceptíveis a processos erosivos. Se dedica ao ensino de Geografia e, também, a pesquisas no campo da Geomorfologia, Pedologia e Meio Ambiente. Atualmente é professora do Instituto Federal de Goiás - IFG, Campus Valparaíso de Goiás.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Amazônia 59, 63, 74, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Anabanching 47, 48, 56, 57

Análise de resíduos 31, 33, 40

Áreas contaminadas 1, 2, 3, 6, 12

Atlântida 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30

### B

Baselines 64, 65, 68, 70, 71, 72

Biodegradação 3, 5, 6

Biogeofísica 1, 3, 5

Bioindicadores 14, 22

Biota 14, 15, 72, 76

### C

Cidade histórica 23

Contaminante 1, 3, 4, 7, 11, 12

Críticas 23, 24, 25, 26, 27, 29

Cultura oceânica 76, 84

Curva de Keeling 31, 32, 33, 35

Curvas termomagnéticas 1, 3, 7, 8, 9, 10

### E

Efeito estufa 32, 34, 45, 67

Espectroscopia de infravermelho 60, 62

Estimação dos parâmetros 31, 33, 39, 41, 42

Estruturas arqueológicas 58, 61, 62

### F

Fluvial 47, 48, 49, 56, 57

### G

GASBRAS 64, 65, 67, 72

Gás não convencional 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72

Genotoxicidade 14, 15, 16, 21

Geofísica 1, 3, 5, 35

## **H**

Hidrocarbonetos 1, 2, 3, 5, 6, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 73, 86

Hidrossedimentologia 47, 48, 54

## **I**

Ictiofauna 14, 15, 16, 18, 21

IPCC 31, 32

## **M**

Meio físico 4

Micronúcleos 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22

Minerais magnéticos 1, 3, 6, 7, 8, 10, 11

Morfonucleares 14, 16, 17, 18, 19, 20

## **P**

Pantanal 47, 48, 49, 55, 56, 57

Peixes 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 74, 75, 76, 79, 80, 85

Poluentes 3, 14, 15, 20

Previsões 31, 33, 34, 36, 37, 38, 43, 45

## **Q**

Qualidade ambiental 15, 16, 18, 20, 66

## **R**

Recifes 74, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85

Rio São Francisco 14, 17, 21

## **S**

Série temporal 31, 33, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43

Sítios 58, 59, 63

Sócrates 23, 26, 29

Solos 1, 2, 5, 7, 12, 55, 58, 59, 60, 61, 62

## **V**

Vulnerabilidade 20, 64, 65, 69, 71

## **X**

Xenobióticos 14

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# **Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 3**

 **Atena**  
Editora

Ano 2021

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br) 

[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br) 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

[www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br) 

# **Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 3**

 **Atena**  
Editora

Ano 2021