

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/350145925>

ASSINATURAS MAGNÉTICAS DE PROCESSOS BIOGEOQUÍMICOS EM UMA ÁREA CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS

Chapter · March 2021

DOI: 10.22533/at.ed.9602117031

CITATIONS

0

READS

29

4 authors, including:



Andrea Teixeira Ustra
University of São Paulo

49 PUBLICATIONS 227 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Alexandre Muselli Barbosa
Instituto de Pesquisas Tecnológicas

17 PUBLICATIONS 32 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Quantitative interpretation of frequency dependent magnetic susceptibility [View project](#)



Identification and Characterization of Magnetic Nanoparticles of Atmospheric Particulate Material in Animal Tissue Samples [View project](#)



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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

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

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

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

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

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

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

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

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

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

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

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

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

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

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

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

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

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

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

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

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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^ª 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^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª 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^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª 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^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª 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^ª 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^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª 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

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 – CO₂ – 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 – CO₂ – 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.

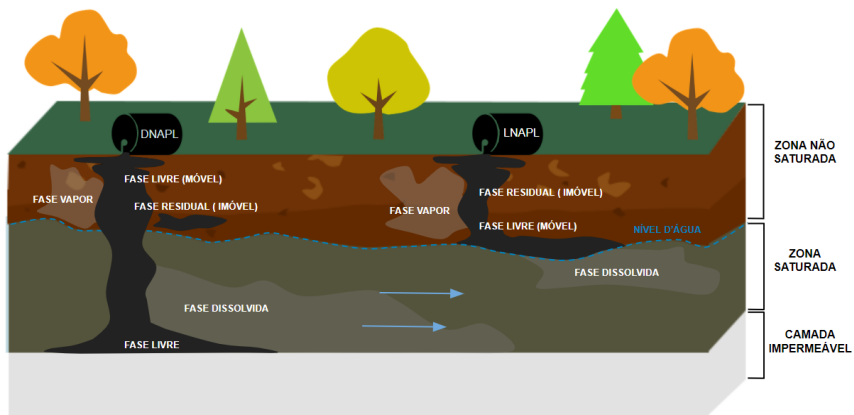


Figura 1: Modelo conceitual do comportamento dos NAPLs no meio físico. As setas azuis indicam o sentido do fluxo subterrâneo.

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).

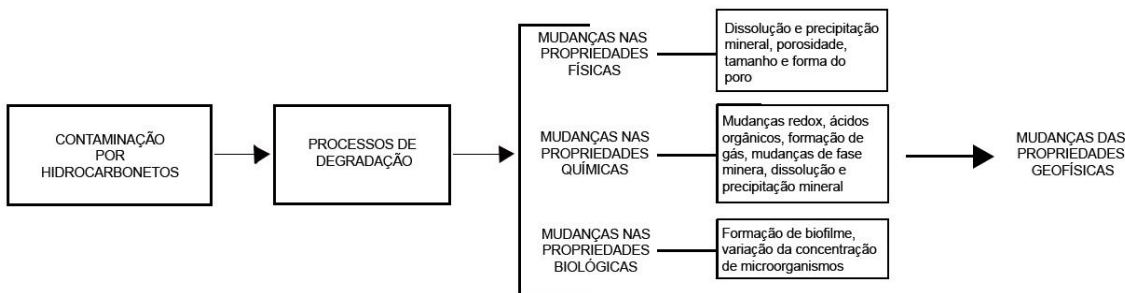


Figura 2: Fluxograma mostrando como mudanças químicas, físicas e biológicas induzidas pela degradação de hidrocarbonetos podem alterar as propriedades geofísicas (modificado de Atekwana & Slater, 2009)

Métodos geofísicos clássicos como eletrorresistividade 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.

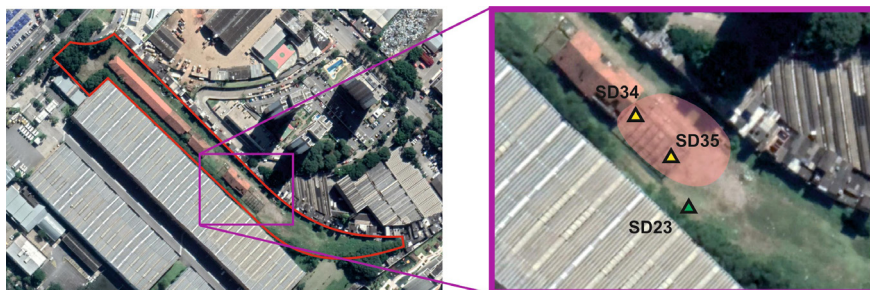


Figura 3: Imagem do local de estudo no bairro do Jaguaré, SP e perfis de amostragem SD23 (verde - background), SD34 e SD35 (amarelo - contaminados), e pluma de contaminação de hidrocarboneto em rosa. Imagem Google Earth.

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.

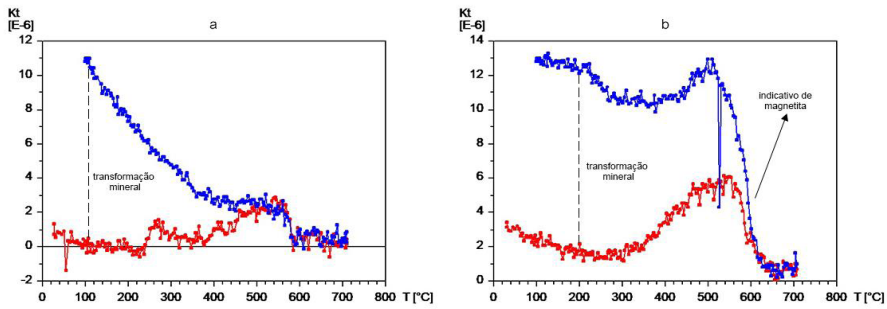


Figura 4: Curvas termomagnéticas com amostras do poço SD23 (background). Cada curva corresponde a uma profundidade sendo: a) 2,7 metros. b) 5,1 metros.

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.

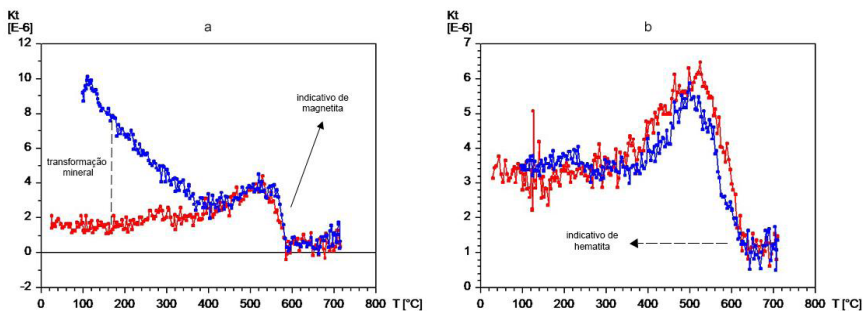


Figura 5: Curvas termomagnéticas com amostras do poço SD34 (contaminado). Cada curva corresponde a uma profundidade sendo: a) 2,7 metros. b) 5,7 metros.

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.

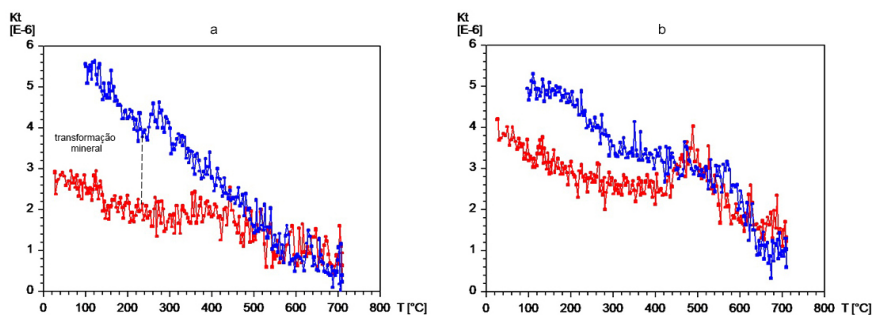


Figura 6: Curvas termomagnéticas com amostras do perfil SD35 (contaminado). Cada curva corresponde a uma profundidade sendo: a) 2,8 metros. b) 5,14 metros.

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.

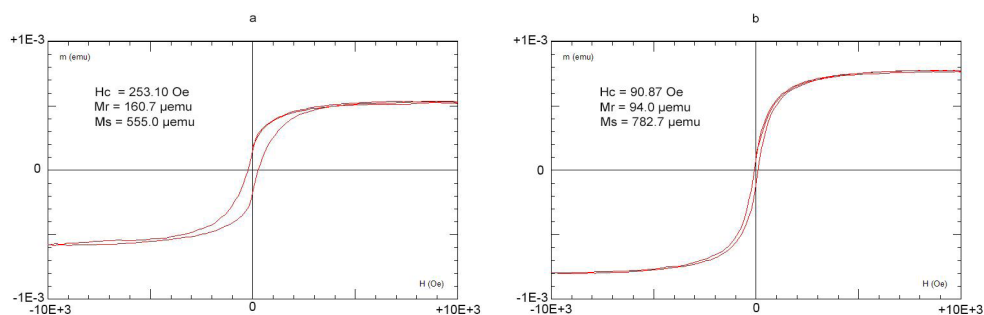


Figura 7: Histerese com amostras do poço SD23 (background). Cada curva corresponde a uma profundidade sendo: a) 2,7 metros. b) 5,1 metros.

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.

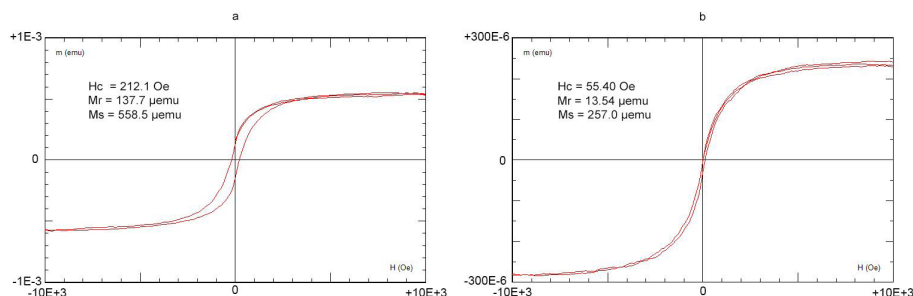


Figura 8: Histerese com amostras do perfil SD34 (contaminado). Cada curva corresponde a uma profundidade sendo: a) 2,7 metros. b) 5,7 metros.

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.

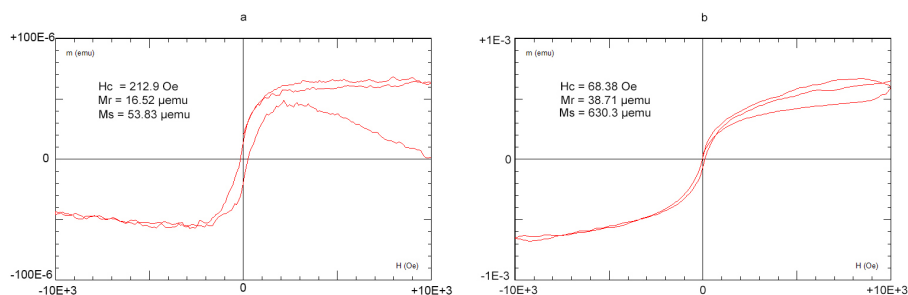


Figura 9: Histerese com amostras do perfil SD35 (contaminado). Cada curva corresponde a uma profundidade sendo: a) 2,8 metros. b) 5,14 metros.

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.