



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 Alfenas

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 Cremo
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

CURVA DE KEELING - A MEDIDA DA CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO – CO₂ – 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 – CO₂ – 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 CO₂ 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 – CO₂. Concluiu-se que o modelo SARIMA (1,1,1) x (1,1,1)₁₂ 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 CO₂ 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 - CO₂ - 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 - CO₂ - 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 CO₂ 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 - CO₂ concentration predictions / simulations. It was concluded that the SARIMA (1, 1, 1) x (1, 1, 1)₁₂ 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 CO₂ 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 – 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 CO_2 . Lembrando que uma elevação da concentração de 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 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 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 CO_2 na atmosfera. Keeling começou o monitoramento das concentrações atmosféricas de 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 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 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 CO₂ 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 – CO₂.

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 CO₂ 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 ε_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 CO₂ e põem em risco as gerações futuras com problemas como escassez de água e poluição.

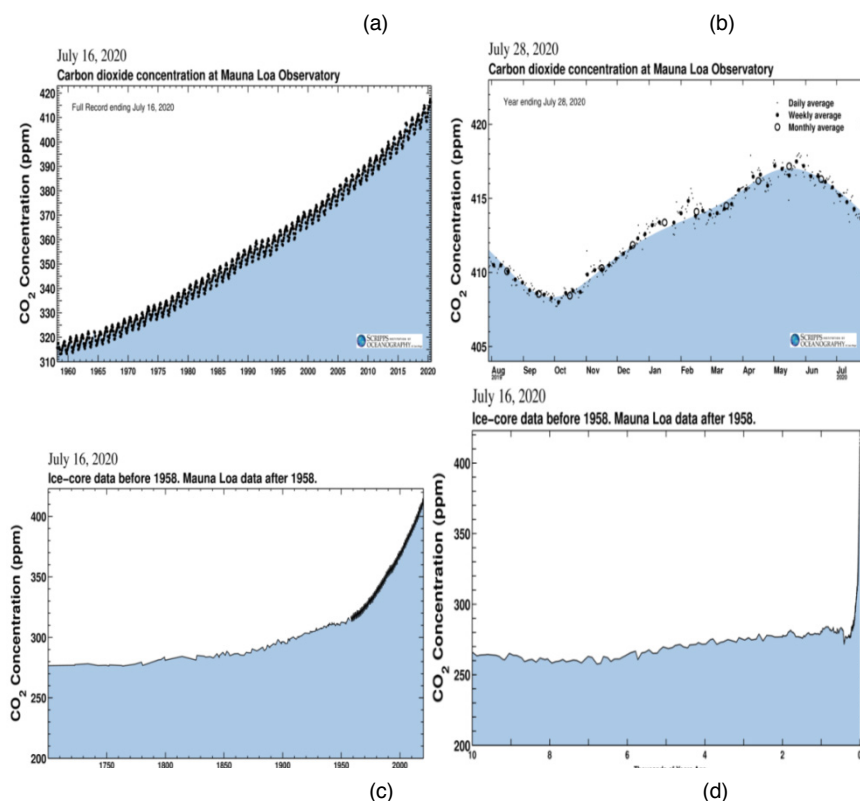
Zimmermann e Schons (2009) propõem uma nova forma de se relacionar com a natureza capaz de reverter às trágicas previsões para o nosso futuro e o das gerações que nos seguirão e apresentam as ideias de Flannery, segundo este autor, na “curva de Keeling” encontra-se o registro do “primeiro sinal definitivo 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 CO₂

obtidas durante a Primeira Expedição Global de Geofísica (FGGE) do Havai ao Tahiti Shuttle, de 1979 a 1980 e considerou ciclo de CO₂ atmosférico reveladas pelo componente anual médio. Os dados do FGGE com base em observações de CO₂ 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 × 10¹⁵ 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 CO₂ 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 CO₂ (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 CO₂ 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 ; ϕ_p corresponde ao parâmetro do modelo AR de ordem p e ε_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 ε_t representa o erro de eventos aleatórios que não podem ser explicados pelo modelo e θ_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 ϕ_p e θ_q são os parâmetros dos processos Autoregressivo e de Média Móvel de ordem p e q (ARMA (p, q)); ε_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 σ^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 (σ^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 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 CO_2 em ppm foi decomposta e apresentada na Figura 2. O primeiro gráfico mostra as observações (dados mensais) da concentração de 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.

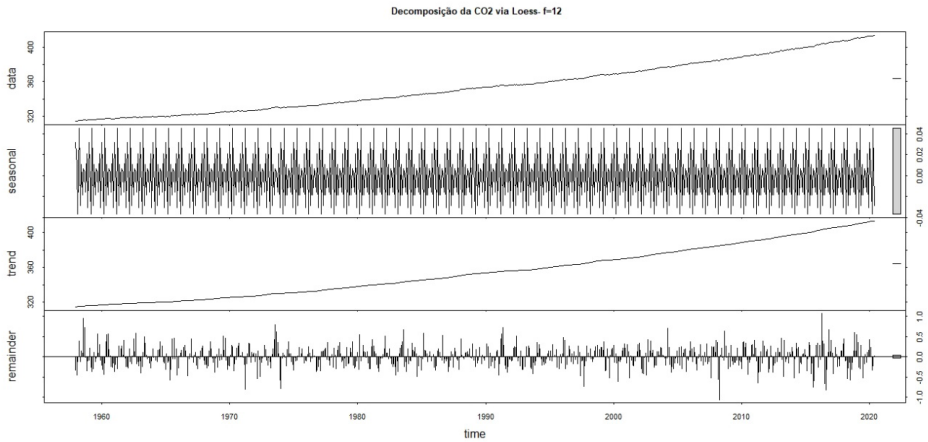


Figura 2 – Estudo de tendência e sazonalidade da concentração de CO₂ em ppm

Fonte: Elaboração própria via Software R

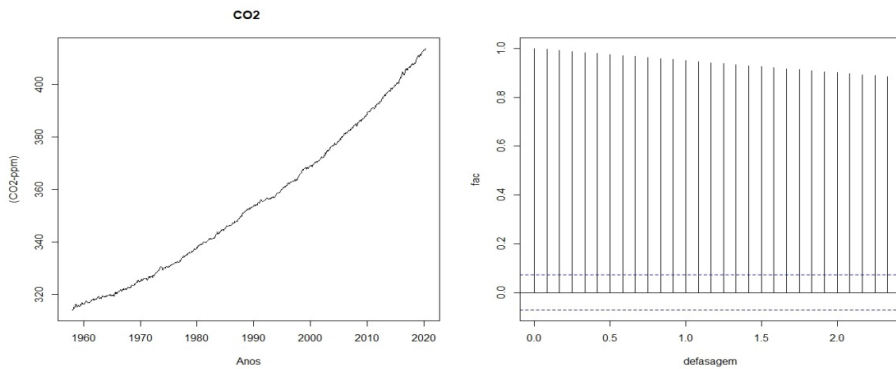


Figura 2 – Estudo da estacionariedade da série temporal da concentração de CO₂ em ppm

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.

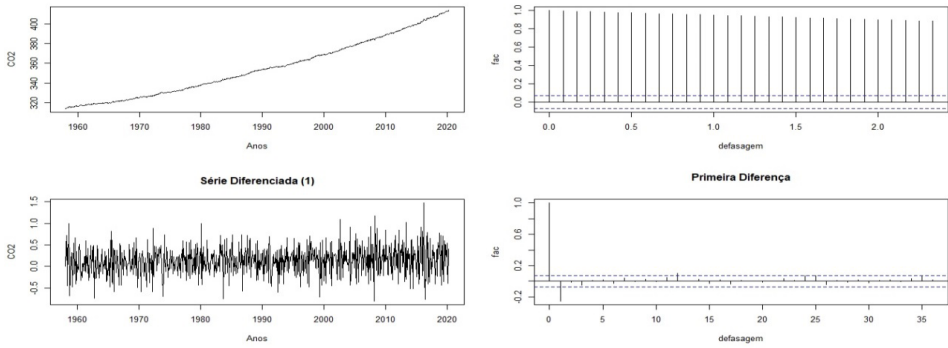


Figura 5 – Os gráficos de FAC e 1ª diferenciação da série temporal de CO₂

Fonte: Elaboração própria via Software R

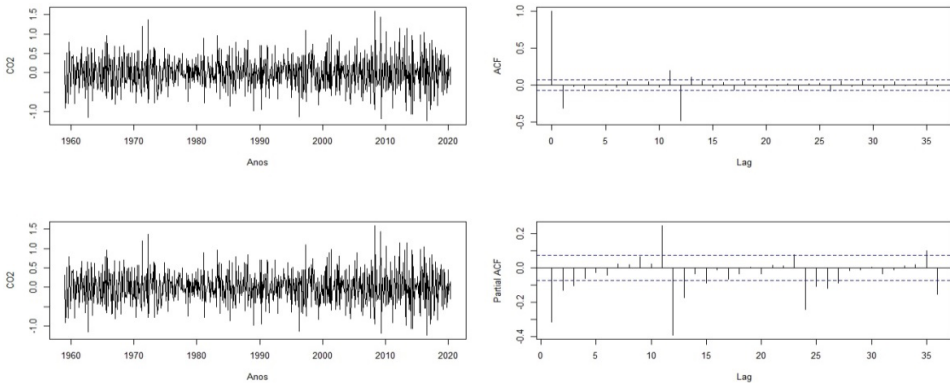


Figura 6 – Os gráficos de FAC e 1ª diferenciação simples e 1ª diferenciação sazonal para ACF e PACF da série temporal de CO₂

Fonte: Elaboração própria via Software R

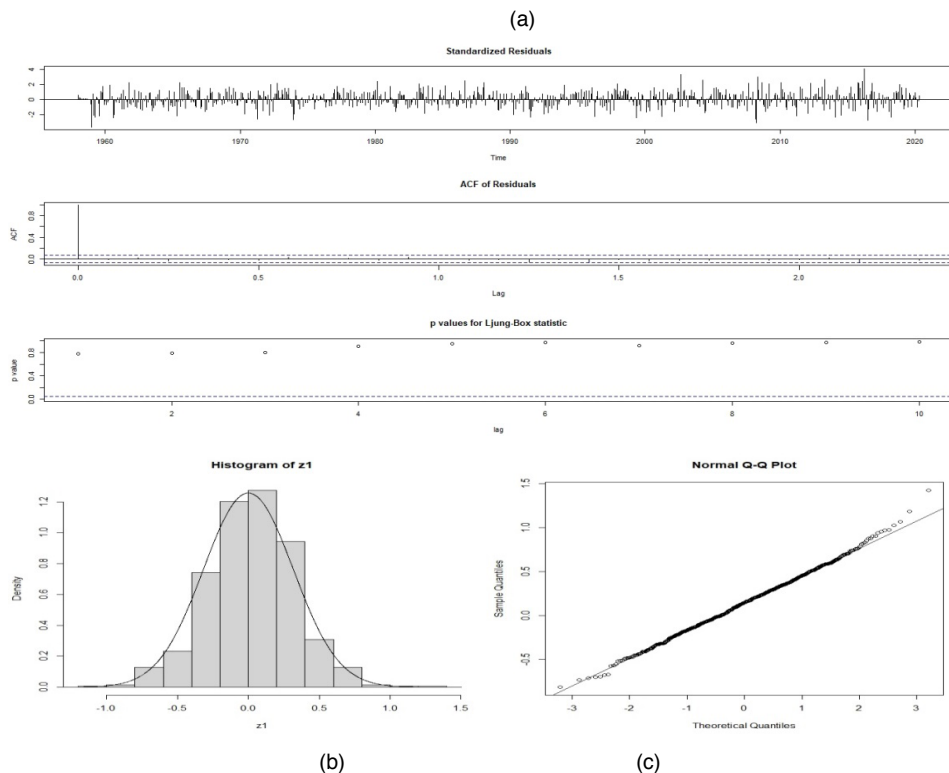
A série se tornou estacionária após a 1ª diferenciação simples e sazonal. Fato verificado pela ACF, em seguida realizou-se a estimação dos parâmetros (p,q, P, Q).

Dentre os vários modelos testados, optou-se pelo modelo SARIMA (1,1,1) x(1,1,1)₁₂ 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 CO_2

4.4 Etapa 5- previsões/simulações de concentração de 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 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 CO_2 . Consta-se que devido ao erro, o intervalo de confiança de 95% aumenta pra previsões mais distantes.

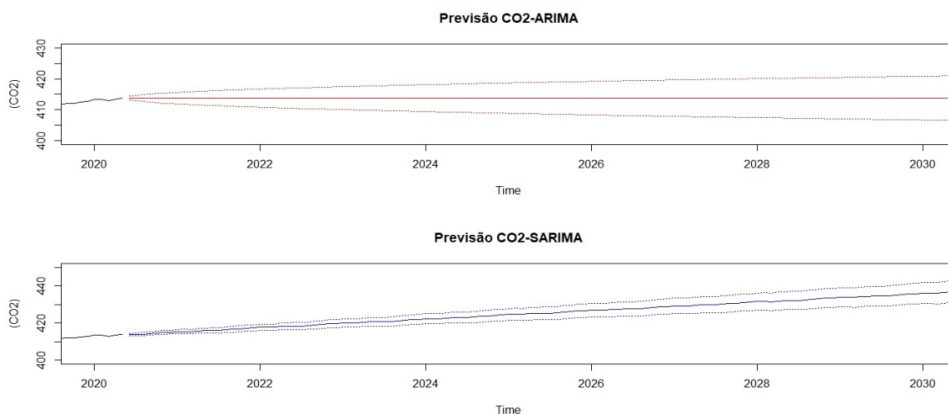


Figura 8 – Observações de concentração de CO₂ e os resultados da previsão para 120 meses via modelo ARIMA e SARIMA

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)₁₂ teve valor igual a 363,32

A Estatística descritiva dos dados mensais de concentração de CO₂ 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 moveis sazonais (Q), para que os resíduos se tornassem normalizados, obtendo-se um modelo SARIMA (1,1,1) x (1,1,1)₁₂, como descrito na equação n° 3.5, adequado para previsão.

Nas previsões/simulações de concentração de CO₂ na atmosfera via modelo SARIMA foi possível identificar, apesar da sazonalidade nos dados, que haverá a continuidade da elevação nos níveis de concentração de CO₂. Sem considerar o intervalo de confiança de 95%, em 2030, os valores estarão próximo a 438 ppm de CO₂ 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 CO₂ 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.

ÍNDICE REMISSIVO

A

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

Anabranching 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 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 3


Ano 2021

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Geociências: Estabelecimento e Evolução da Civilização Humana 3

 **Atena**
Editora

Ano 2021