

# Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares

das ciências exatas e da terra



# Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares

das ciências exatas e da terra



**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes editoriais**

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da capa**

iStock

**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.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências 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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª 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. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Rio de Janeiro  
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. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª 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  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª 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  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª 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  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª 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  
Profª Drª 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  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federac 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  
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

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

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

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

#### **Linguística, Letras e Artes**

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

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

**Diagramação:** Maria Alice Pinheiro  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Francisco Odécio Sales

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

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

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-424-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.242213108>

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

CDD 507

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

contato@atenaeditora.com.br

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, desta forma não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

## APRESENTAÇÃO

A obra “Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares das ciências exatas e da terra aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 26 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca do ensino e educação. As Ciências Exatas e da Terra englobam, atualmente, alguns dos campos mais promissores em termos de pesquisas atuais. Estas ciências estudam as diversas relações existentes da Astronomia/Física; Biodiversidade; Ciências Biológicas; Ciência da Computação; Engenharias; Geociências; Matemática/ Probabilidade e Estatística e Química. O conhecimento das mais diversas áreas possibilita o desenvolvimento das habilidades capazes de induzir mudanças de atitudes, resultando na construção de uma nova visão das relações do ser humano com o seu meio, e, portanto, gerando uma crescente demanda por profissionais atuantes nessas áreas. A ideia moderna das Ciências Exatas e da Terra refere-se a um processo de avanço tecnológico, formulada no sentido positivo e natural, temporalmente progressivo e acumulativo, segue certas regras, etapas específicas e contínuas, de suposto caráter universal. Como se tem visto, a ideia não é só o termo descritivo de um processo e sim um artefato mensurador e normalizador de pesquisas. Neste sentido, este volume é dedicado aos trabalhos relacionados a ensino e aprendizagem. A importância dos estudos dessa vertente, é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento. Os organizadores da Atena Editora, agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada. Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Francisco Odécio Sales

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

A IMPORTÂNCIA DOS VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT) EM TRABALHOS DE CAMPO E NOS MAPEAMENTOS TEMÁTICOS DE ANÁLISE AMBIENTAL

Victor Hugo Holanda Oliveira


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2422131081>

### **CAPÍTULO 2..... 12**

A HISTÓRIA DA ESTRADA DE FERRO DE ILHÉUS E A TERMODINÂMICA: CONTRIBUIÇÕES AO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DE FÍSICA NOS ANOS FINAIS DO ENSINO FUNDAMENTAL

Thais Barbosa dos Santos Moura

Adriano Marcus Stuchi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2422131082>

### **CAPÍTULO 3..... 32**

AMBIENTE COLOABORATIVO PARA APRENDIZAGEM CONTEXTUALIZADA DE PROGRAMAÇÃO

Maísa Soares dos Santos Lopes

Rodrigo Silva Lima


João Vitor Oliveira Ferraz Silva

Helber Henrique Lopes Marinho

Alzira Ferreira da Silva

Roque Mendes Prado Trindade

Antônio Cezar de Castro Lima


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2422131083>

### **CAPÍTULO 4..... 47**

ANÁLISE DOS PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS COMO SUBSÍDIO AO ORDENAMENTO TERRITORIAL

Karla Nadal

Ronaldo Ferreira Maganhotto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2422131084>

### **CAPÍTULO 5..... 60**


ANÁLISE TEMPORAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) NA REGIÃO NORTE FLUMINENSE

José Carlos Mendonça

Thiago Pontes da Silva Peixoto

Claudio Martins de Almeida

Lorenzo Montovaneli Lazarini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2422131085>

**CAPÍTULO 6..... 74**

**ANÁLISIS TOPOGRÁFICO Y MORFOMÉTRICO HIDROLÓGICAMENTE CONSISTENTE PARA LA DELIMITACIÓN DE LA CUENCA ILO-MOQUEGUA**

Osmar Cuentas Toledo

Alberto Bacilio Quispe Cohaila


Aloísio Machado da Silva Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2422131086>

**CAPÍTULO 7..... 86**

**APPINFOCOVID: APLICATIVO MÓVEL PARA DISPONIBILIZAR INFORMAÇÕES SOBRE A COVID-19**

Helder Guimarães Aragão

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2422131087>

**CAPÍTULO 8..... 92**

**CONDIÇÕES SOCIAIS DE SAÚDE, SANEAMENTO E QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA DE MUNICÍPIOS DO OESTE DA BAHIA (BR)**

Flávio Souza Batista

Manoel Jerônimo Moreira Cruz

Manuel Vitor Portugal Gonçalves

Antônio Bomfim da Silva Ramos Junior

Rodrigo Alves Santos

Cristina Maria Macêdo de Alencar

Débora Carol Luz da Porciúncula

José Jackson de Souza Andrade

Ana Cláudia Lins Rodrigues


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2422131088>

**CAPÍTULO 9..... 111**

**CONSTRUINDO UM CANHÃO ELETROMAGNÉTICO DE BAIXO CUSTO**

Carolina Rizziolli Barbosa

João Paulo da Silva Alves

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2422131089>

**CAPÍTULO 10..... 117**

**DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS E TERMODINÂMICOS DA REAÇÃO DE OXIDAÇÃO DO BIODIESEL COMERCIAL SOB EFEITO DE EXTRATO DE ALECRIM (*Rosmarinus Officinalis* L.)**

José Gonçalves Filho


Hágata Cremasco Silva







Ana Carolina Gomes Mantovani







Letícia Thaís Chendynski

Karina Benassi Angilelli

Dionisio Borsato


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310810>

<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>129</b>
ENSINO POR EXPERIMENTAÇÃO-UMA PROPOSTA PARA O ESTUDO LEI DE LAMBERT BEER	
Pedro José Sanches Filho Alex Mercio Mendez Larrosa	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310811">https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310811</a>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>144</b>
FEIÇÕES MAGMÁTICAS NA PORÇÃO SUL DA BACIA DE CAMPOS E SUA RELAÇÃO COM O SAL	
Elisabeth de Fátima Strobino Natasha Santos Gomes Stanton	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310812">https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310812</a>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>156</b>
GEOPROCESSAMENTO DAS VIAS DE VARRIÇÃO DE REGIÕES DE UMA CIDADE USANDO A FERRAMENTA QGIS	
Jonatas Fontele Dourado Antônio Honorato Moreira Guedes Elias Cícero Moreira Guedes Marcos José Negreiros Gomes	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310813">https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310813</a>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>161</b>
INVESTIGANDO FATORES PRIMOS COM TRINCAS PITAGÓRICAS	
Alessandro Firmiano de Jesus João Paulo Martins dos Santos Juan López Linares	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310814">https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310814</a>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>176</b>
MODELAGEM DE VAZAMENTOS MARINHOS DE ÓLEO E SUSCETIBILIDADE EM ÁREAS COSTEIRAS E ESTUARINAS	
Caroline Barbosa Monteiro Phelype Haron Oleinik	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310815">https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310815</a>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>190</b>
MODELAGEM MATEMÁTICA DA MASSA DE BHA E DE BHT EM BIODIESEL POR REDES PERCEPTRON DE MÚLTIPLAS CAMADAS	
Felipe Yassuo Savada Hágata Cremasco Silva Ana Carolina Gomes Mantovani Letícia Thaís Chendynski Karina Benassi Angilelli Dionisio Borsato	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310816">https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310816</a>	

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>202</b>
O ENSINO DE EXPRESSÕES ALGÉBRICAS ATRAVÉS DA RECEITA DE BRIGADEIRO	
Jamile Vieira Goi	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310817">https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310817</a>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>207</b>
ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NOS LIVROS DIDÁTICOS	
Leonardo Deosti	
Ana Suellen Gomes da Silva	
Hercília Alves Pereira de Carvalho	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310818">https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310818</a>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>220</b>
PROPOSIÇÃO DE MODELOS DE REDUÇÃO DE SONDAGENS BATIMÉTRICAS PARA LEVANTAMENTOS HIDROGRÁFICOS EM RIOS E RESERVATÓRIOS	
Felipe Catão Mesquita Santos	
Victória Gibrim Teixeira	
Mayke Nogueira de Miranda	
Laura Coelho de Andrade	
Ítalo Oliveira Ferreira	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310819">https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310819</a>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>236</b>
PRÁTICAS PEDAGÓGICAS APLICADAS A APRENDIZAGEM DE TRABALHOS COM PRESSÕES ANORMAIS	
Valmir Schork	
Claudinei Aparecido Pirola	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310820">https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310820</a>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>241</b>
RISK ASSESSMENT FOR EXISTING MINE TAILING STORAGE FACILITIES IN BRAZIL	
Rafaela Baldi Fernandes	
Mônica Novell Morell	
Siefko Slob	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310821">https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310821</a>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>264</b>
SELEÇÃO DE CRITÉRIOS PARA A DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA EM EIA/RIMA DE ATERROS SANITÁRIOS PELO MÉTODO AHP	
Renan Costa da Silva	
Gerson Araujo de Medeiros	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310822">https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310822</a>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>275</b>
SUGESTÕES DE Sensores DE BAIXO CUSTO PARA ENSINO DE FÍSICA	
Rodrigo Marques de Oliveira	

Rodrigo Coelho Ramos

Douglas Adolfo Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310823>

**CAPÍTULO 24.....283**

**UMA PROSPECÇÃO ANALÍTICA DO POTENCIAL DE TROCADORES DE CALOR SOLO-AR EM PELOTAS**

Eduardo de Sá Bueno Nóbrega

Ana Maria Bersch Domingues

Ruth da Silva Brum

Jairo Valões de Alencar Ramalho

Régis Sperotto de Quadros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310824>

**CAPÍTULO 25.....294**

**USO DO *SMARTPHONE* COMO RECURSO DIDÁTICO NO ENSINO EXPERIMENTAL DE FÍSICA**

Janaina Zavilenski de Oliveira

Renato Ribeiro Guimarães

Maurício Antonio Custódio de Melo

Luciano Gonsalves Costa

Perseu Ângelo Santoro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310825>

**CAPÍTULO 26.....303**

**UTILIZAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA) PARA GESTÃO TERRITORIAL E AMBIENTAL DA TERRA INDÍGENA PIRAÍ, MUNICÍPIO DE ARAQUARI/SC: ESTRATÉGIAS PARA IMPLEMENTAÇÃO DE PROJETO DE PISCICULTURA**

Évelin Moreira Gonçalves

Ângelo Martins Fraga

Laila Freitas Oliveira de Assis

Amanda Elias Alves

Ana Carolina Schmitz da Silva

Felipe Mathia Corrêa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.24221310826>

**SOBRE O ORGANIZADOR.....315**

**ÍNDICE REMISSIVO.....316**

## DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS CINÉTICOS E TERMODINÂMICOS DA REAÇÃO DE OXIDAÇÃO DO BIODIESEL COMERCIAL SOB EFEITO DE EXTRATO DE ALECRIM (*Rosmarinus officinalis* L.)

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão: 02/06/2021

### José Gonçalves Filho

Universidade Estadual de Londrina,  
Departamento de Química  
Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/5861011125419491>

### Hágata Cremasco Silva

Universidade Estadual de Londrina,  
Departamento de Química  
Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/0203485044375904>

### Ana Carolina Gomes Mantovani

Universidade Estadual de Londrina,  
Departamento de Física  
Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/6492923024762299>

### Letícia Thaís Chendynski

Instituto Federal do Paraná, Campus Palmas  
Palmas-PR  
<http://lattes.cnpq.br/7376842049988906>

### Karina Benassi Angilelli

Universidade Estadual de Londrina,  
Departamento de Química  
Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/7952035577822932>

### Dionisio Borsato

Universidade Estadual de Londrina,  
Departamento de Química  
Londrina-PR  
<http://lattes.cnpq.br/3265471567908195>

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo determinar os parâmetros cinéticos e termodinâmicos da reação de oxidação do biodiesel comercial, em presença de antioxidantes naturais provenientes do extrato de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.), através do método Rancimat. O parâmetro da estabilidade oxidativa é expresso em função do Período de Indução (PI), que indica o tempo necessário para que os processos oxidativos iniciem. Informações como condutividade elétrica e PI da reação podem ser obtidas pelo método aplicado. A partir desses dados, pode-se estimar os parâmetros cinéticos como a constante de velocidade e a energia de ativação e, os parâmetros termodinâmicos; entalpia, entropia e energia livre de Gibbs, para avaliar a eficiência dos antioxidantes. Os parâmetros foram determinados por meio das equações de Arrhenius e Eyring, aplicado à teoria do complexo ativado. O PI e as constantes de velocidades resultaram nos maiores e menores valores para todos os ensaios contendo antioxidantes, respectivamente. Dentre todos os ensaios, a amostra com antioxidantes proporcionou melhores valores de energia de ativação para três casos (103,29, 94,83 e 94,17 kJ.mol<sup>-1</sup>). Os valores obtidos para  $\Delta H^\ddagger$ ,  $\Delta S^\ddagger$  e  $\Delta G^\ddagger$  descreveram a reação como não espontânea, endergônica e endotérmica.

**PALAVRAS - CHAVE:** Rancimat; biodiesel; estabilidade oxidativa; antioxidantes naturais.



# DETERMINATION OF THE KINETIC AND THERMODYNAMIC PARAMETERS OF THE COMMERCIAL BIODIESEL OXIDATION REACTION UNDER THE EFFECT OF ROSEMARY EXTRACT (*Rosmarinus officinalis* L.)

**ABSTRACT:** This work had the purpose of determining the kinetics and thermodynamics parameters of commercial biodiesel oxidation reaction, in presence of natural antioxidants from rosemary extract (*Rosmarinus officinalis* L.), using the Rancimat method. The oxidative stability parameter is expressed in function of the induction period (IP), which indicates the needed time for oxidative processes to initiate. Information as electric conductivity and the reaction IP can be obtained by the method used. From these data, we can estimate kinetics parameters like the rate constant, the activation energy, and the thermodynamics parameters; activation enthalpy, activation entropy, and the activation of Gibbs free energy, to evaluate the antioxidant efficiency. The parameters have been determined by the Arrhenius and Eyring's equations, applied to activated complex theory. The samples containing antioxidants resulted in the highest IP values, while the rate constants presented the smallest values. Among all essays, the sample in presence of antioxidants provided the best activation energy values in three cases (103.29, 94.83 and 94.17 kJ.mol<sup>-1</sup>). The results acquired to  $\Delta H^\ddagger$ ,  $\Delta S^\ddagger$  and  $\Delta G^\ddagger$  described the reaction as nonspontaneous, endergonic, and endothermic.

**KEYWORDS:** Rancimat; biodiesel; oxidative stability; natural antioxidants.

## 1 | INTRODUÇÃO

No atual cenário energético mundial, em que se discute a necessidade de energia e a redução de substratos de combustíveis de origem fóssil, vinculadas à poluição ambiental, tem incentivado os países a buscarem por fontes de energia renováveis e sustentáveis. O emprego de combustíveis fósseis representa uma parcela significativa dos sérios problemas relacionados ao meio ambiente, como poluição do ar, emissões de CO<sub>2</sub> e gases associados ao efeito estufa, bem como o relativo aumento do aquecimento global. Com isso, destaca-se a imprescindibilidade de se considerar a aplicação de recursos renováveis como alternativa à demanda energética (DA SYLVIO VIEIRA *et al.*, 2020; KIRTAY, 2011).

Devido às propriedades renováveis dos biocombustíveis, sua viabilidade como fonte de energia tem recebido atenção especial. De acordo com o relatório da *British Petroleum Statistical Review of World Energy*, estima-se que em 2018, a produção mundial de biocombustíveis foi de 95.371.000 toneladas, tendo os Estados Unidos e Brasil como os maiores produtores, com 39,9 % e 22,4 %, respectivamente, respondendo por 62,35 % da produção global (DA SYLVIO VIEIRA *et al.*, 2020).

Dentre os biocombustíveis utilizados, o biodiesel apresenta-se como promissor substituto ao diesel de petróleo por suas propriedades físico-químicas semelhantes, além de características renováveis e biodegradáveis. O aumento do número de pesquisas relacionadas ao biodiesel e a crescente motivação para sua produção, são atribuídos às vantagens em relação ao diesel comercial, como a não toxicidade, a ausência de enxofre e compostos aromáticos e o melhor potencial de lubrificação, assim como, a obrigatoriedade

da sua adição no diesel comercial (ARAÚJO *et al.*, 2010).

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2019), a produção de energia por meio de biomassas, tem-se o etanol como o biocombustível com maior produção. No ano de 2018, a produção de etanol hidratado e anidro no Brasil foi de 33 bilhões de litros. O Brasil apresenta uma vasta extensão territorial que, aliada à diversidade de clima e solo e a biodiversidade de oleaginosas, possibilita seu uso como matéria-prima, o caracteriza como um enorme potencial para produção de biodiesel (ARAÚJO *et al.*, 2010). Assim sendo, em termos de avaliação da matriz energética proveniente de fontes renováveis, o Brasil tem a garantia de ocupar uma posição de destaque entre os demais países.

Para ser comercializado, o biodiesel deve manter as suas características essenciais pouco modificadas durante o período de armazenamento, assim a manutenção de sua qualidade durante um tempo de estocagem maior tem sido uma grande preocupação para produtores e fornecedores do biodiesel (DE ALMEIDA *et al.*, 2015). Portanto, considera-se que o uso de compostos antioxidantes permite retardar ou inibir as condições favoráveis aos processos oxidativos e evitar a propagação de reações de produtos indesejáveis, visando melhorar a estabilidade à oxidação. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi determinar os parâmetros cinéticos e termodinâmicos da reação de oxidação do biodiesel comercial, em presença de antioxidante natural proveniente do extrato de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Biodiesel

O biodiesel B100 utilizado foi disponibilizado pelo Laboratório de Pesquisa e Análise de Combustíveis, do Departamento de Química da Universidade Estadual de Londrina (UEL – Paraná, Brasil).

### 2.2 Extrato alcoólico de folhas de alecrim

O extrato alcóolico com propriedades antioxidantes foi produzido com folhas de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) secas, a 60 °C, em estufa. 10 gramas de folhas secas de alecrim foram adicionados a 250 mL de álcool etílico absoluto (Anidrol PA). Esta mistura foi mantida na ausência de luz por 48 horas, depois filtrada e concentrada em aproximadamente 50 mL, usando uma placa de aquecimento a 50 °C. Após o resfriamento a temperatura ambiente, o extrato foi transferido para um balão de volumétrico de 50 mL e aferido com álcool etílico absoluto. Antes de ser adicionado ao biodiesel, o extrato de alecrim foi aquecido a 40 °C até a eliminação do álcool.

## 2.3 Compostos fenólicos totais

A quantificação de compostos fenólicos totais nos extratos foi realizada utilizando o reagente Folin-Ciocalteu (SPACINO *et al.*, 2015). A leitura das amostras foi realizada por espectrometria UV-VIS no equipamento Thermo Scientific (modelo Evolution 60), na faixa de 760 nm, pelo método Folin-Ciocalteu. A curva analítica foi preparada utilizando o ácido gálico como reagente padrão (SPACINO *et al.*, 2015).

## 2.4 Preparo das amostras

As amostras foram preparadas contendo 200 mL de biodiesel (controle) e 200 mL de biodiesel contendo 2 % (v/v) de extrato de alecrim sem álcool. Todas as amostras foram armazenadas por 42 dias à temperatura ambiente e na ausência de luz.

## 2.5 Determinação do período de indução (PI)

Três gramas das amostras foram colocados em tubo de ensaio no aparelho Rancimat modelo 873 (Metrohm® - Herisau / Switzerland) seguindo a norma EN 14112. As amostras foram aquecidas a 110, 115, 120 e 125 °C com taxa de insuflação de ar de 10 L.h<sup>-1</sup> para determinação do período de indução (PI).

## 2.6 Parâmetros cinéticos

A cinética da reação foi investigada submetendo as amostras ao teste acelerado de estabilidade oxidativa nas temperaturas de 110, 115, 120 e 125 °C. Os dados de condutividade elétrica, para cada temperatura, foram obtidos até o ponto de inflexão, considerando a reação de primeira ordem e o valor das constantes de velocidade (*k*) foram determinadas utilizando o coeficiente angular, de acordo com a Equação 1:

$$\ln \Lambda = \ln \Lambda_0 - k(t_f - t_i) \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que  $\Lambda$  representa a condutividade no tempo  $t$  (h),  $\Lambda_0$  representa a condutividade inicial, e  $t_i$  e  $t_f$  tempos inicial e final respectivamente.

Os parâmetros da equação de Arrhenius não podem ser medidos diretamente, uma vez que, surgem da taxa reacional em várias temperaturas. A energia de ativação ( $E_a$ ) foi determinada a partir de dados experimentais da constante de velocidade ( $k$ ) em função da temperatura, com os dados do ajuste linear seguindo a equação:

$$\ln(k) = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde  $k$  é constante de velocidade (h<sup>-1</sup>);  $A$  é o fator pré exponencial (h<sup>-1</sup>) e depende da frequência de colisões;  $E_a$ , a energia de ativação (kJ.mol<sup>-1</sup>);  $R$  é a constante dos gases ideais (8,31447 J.K<sup>-1</sup>.mol<sup>-1</sup>) e  $T$  é a temperatura absoluta (K).

## 2.7 Parâmetros termodinâmicos

A entalpia ( $\Delta H^\ddagger$ ) e entropia ( $\Delta S^\ddagger$ ) de ativação foram determinadas pela equação de Eyring aplicada a teoria do complexo ativado (ACT) (Eq. 3):

$$\ln\left(\frac{k}{T}\right) = \left[ \ln\left(\frac{k_B}{h}\right) + \left(\frac{\Delta S^\ddagger}{R}\right) \right] - \left(\frac{\Delta H^\ddagger}{R}\right)\left(\frac{1}{T}\right) \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que  $k_B$  é a constante de Boltzmann ( $1,38065 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$ );  $h$  é a constante de Planck ( $6,62608 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ );  $\Delta H^\ddagger$  é a entalpia de ativação ( $\text{kJ.mol}^{-1}$ ) e  $\Delta S^\ddagger$  é a entropia de ativação. A energia livre de Gibbs de ativação ( $\Delta G^\ddagger$ ) para cada temperatura foi obtida pela equação 4:

$$\Delta G^\ddagger = \Delta H^\ddagger - T\Delta S^\ddagger \quad \text{Eq. (4)}$$

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados dos períodos de indução (PI) para as amostras controle e biodiesel contendo o extrato de alecrim, nas temperaturas de 110, 115, 120 e 125 °C, durante o período avaliado.

Tempo (dias)	PI (h)			
	110 °C	115 °C	120 °C	125 °C
0	8,29	6,03	4,26	3,00
18	8,18	5,70	4,17	2,90
25	7,88	5,73	3,95	2,93
42	7,37	5,65	4,10	2,98

**Tabela 1** – Valores de Período de Indução para o controle nas temperaturas de 110, 115, 120 e 125 °C.

Tempo (dias)	PI (h)			
	110 °C	115 °C	120 °C	125 °C
0	11,77	8,08	5,61	3,67
18	11,62	7,48	5,31	3,89
25	10,25	8,13	5,19	3,65
42	10,05	7,92	5,52	3,55

**Tabela 2** – Valores de Período de Indução para biodiesel contendo extrato de alecrim nas temperaturas de 110, 115, 120 e 125 °C.

Pela análise dos valores das tabelas 1 e 2, em ambos os casos, os valores de PI diminuíram com o aumento da temperatura. De acordo com os dados, todos os ensaios em que tiveram adição de antioxidantes, provenientes do extrato de alecrim, proporcionaram maiores valores de PI quando comparados aos valores correspondentes à amostra controle, indicando que o uso de antioxidantes contribuiu para proteção do biodiesel, retardando o

início da reação de oxidação.

A avaliação dos valores de PI a 110 °C, temperatura que regulamenta o ensaio de estabilidade oxidativa (EN14112), todos os ensaios contendo extrato de alecrim apresentaram PI maiores que o valor mínimo de 8 horas, estipulado pela norma EN14214. No entanto, considerando a legislação Brasileira, cujo valor mínimo de PI estabelecido é de 12 horas (BRASIL, 2019), as mesmas amostras, embora próximas do valor, apresentaram-se fora de especificação.

Chendynski *et al.*, (2019) avaliaram o efeito de íons metálicos na estabilidade oxidativa do biodiesel em presença de extrato de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) e obtiveram elevados períodos de indução. Messias e colaboradores (2019), também utilizando extrato de alecrim para prevenção da oxidação do biodiesel, após o período de armazenamento de seis meses, conseguiram períodos de indução superiores a 8 horas. Dessa forma, os resultados obtidos reafirmam a necessidade de aplicação de antioxidantes ao biodiesel.

As tabelas 3 e 4 apresentam os valores das constantes de velocidades (k) para o controle, bem como para a amostra de biodiesel B100 contendo antioxidantes, nas 4 diferentes temperaturas avaliadas. O ajuste do logaritmo natural da condutividade elétrica ( $\mu\text{S}$ ) versus o tempo (h) pode ser aplicado como método indireto para determinação da ordem de velocidade da reação, assim como a constante de velocidade, uma vez que, o produto da reação de oxidação do biodiesel altera a condutividade registrada pelo equipamento Rancimat (GALVAN *et al.*, 2013).

Tempo (dias)	k (h <sup>-1</sup> )			
	110 °C	115 °C	120 °C	125 °C
0	0,4020	0,5831	0,6912	0,9745
18	0,4248	0,5927	0,8433	1,1712
25	0,4304	0,5713	0,8237	1,1691
42	0,4598	0,6621	0,8650	1,1145

**Tabela 3** – Valores da constante de velocidade para o controle nas temperaturas de 110, 115, 120 e 125 °C.

Tempo (dias)	k (h <sup>-1</sup> )			
	110 °C	115 °C	120 °C	125 °C
0	0,2711	0,3600	0,4989	0,6069
18	0,2961	0,4491	0,6345	1,0271
25	0,3136	0,4112	0,6740	0,9261
42	0,3664	0,4230	0,6854	1,0793

**Tabela 4** – Valores da constante de velocidade para biodiesel contendo extrato de alecrim nas temperaturas de 110, 115, 120 e 125 °C.

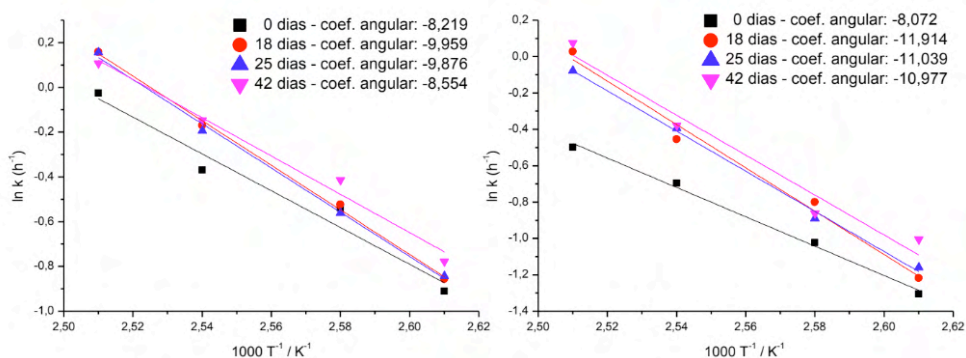
De acordo com as tabelas 3 e 4, é possível observar que para todos os ensaios em que houve adição de antioxidantes, a constante de velocidade k diminuiu em comparação

a amostra controle. Esses resultados apontam que a presença de antioxidantes reduz a constante de velocidade da reação de oxidação do biodiesel, de forma a retardar as etapas de iniciação e propagação das reações em cadeia para formação de radicais livres, levando a maior estabilidade do biocombustível. Borsato *et al.*, (2014), ao avaliarem os parâmetros cinéticos da reação de oxidação do biodiesel, com a adição dos antioxidantes sintéticos TBHQ, BHT, BHA e PG, também observaram redução no valor da constante de velocidade.

Conforme a tabela 3, no tempo de 0 dias de armazenamento para a amostra controle, a constante  $k$  na temperatura de 125 °C apresentou um valor de 2,42 vezes maior que o valor observado a 110 °C e, embora o valor de  $k$  para as amostras contendo antioxidante tenha diminuído, os maiores valores de  $k$  para amostra controle poderiam estar atrelados à quantidade de óleo de soja empregado na fabricação do combustível (Borsato *et al.*, 2014).

Pode-se observar que, para todos os ensaios, a constante  $k$  aumenta com o aumento da temperatura, indicando a dependência da constante de velocidade com a temperatura. Segundo Tan *et al.*, (2001), além da presença ou ausência de antioxidantes, o valor da constante de velocidade também está diretamente relacionado à estrutura dos ácidos graxos que compõem o biodiesel, demonstrando que, elevados níveis de insaturação ou inexistência de antioxidantes implica no aumento de  $k$ , enquanto, elevados níveis de saturação ou presença de antioxidantes, resulta na diminuição da constante.

Seguindo a equação de Arrhenius (Eq. 2), a obtenção do gráfico de  $\ln k$  versus o inverso da temperatura ( $1/T, K^{-1}$ ), descreve uma reta com inclinação correspondente a  $(-E_a/R)$  e intercepto  $\ln A$ , que possibilita a determinação da energia de ativação  $E_a$  (Figura 1).



**Figura 1** – Regressão linear de  $\ln k$  versus  $1/T$  para controle e biodiesel contendo extrato.

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) obtidos para o controle variaram de 0,9826 a 0,9998 e de 0,9532 a 0,9952 para a amostra com antioxidante. Chen *et al.*, (2011) e Borsato *et al.*, (2014), obtiveram adequada correlação linear entre  $\ln k$  versus  $1/T (K^{-1})$  avaliando a cinética de reação dos processos oxidativos do biodiesel na presença de diferentes misturas de antioxidantes sintéticos.

Considerando que a  $E_a$  é obtida por meio da inclinação da reta, maior será o valor de  $E_a$ , quando mais pronunciada for a inclinação, indicando que maior será a dependência da constante de velocidade com a temperatura (LEVENSPIEL, 1999). Como é observado na Figura 1, para os períodos avaliados (18, 25 e 42 dias), o controle apresentou menores inclinações, demonstrando que é mais favorável à oxidação em comparação com as amostras contendo antioxidantes. Por outro lado, na avaliação no período inicial (0 dias), o controle apresentou maior inclinação, conseqüentemente maior  $E_a$ , indicando que o processo oxidativo ocorreu mais lentamente em comparação à amostra na presença de compostos com ação antioxidantes.

A Tabela 5 mostra os valores de energia de ativação para o controle e as amostras contendo extrato antioxidante.

Tempo (Dias)	$E_a$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	
	Controle	Biodiesel + Extrato
0	71,65	69,60
18	86,05	103,29
25	85,21	94,83
42	74,16	94,17

**Tabela 5** – Valores de Energia de Ativação para controle e biodiesel contendo extrato de alecrim.

Como pode ser observado na tabela 5, assim como esperado, os valores reportados para as amostras de biodiesel contendo compostos fenólicos, elevou a energia de ativação para a reação de oxidação do biodiesel, proporcionando assim, diminuição na velocidade de reação, com exceção do primeiro ensaio (0 dias). Assim, como descrevem Spacino *et al.*, (2015), analisando amostras de biodiesel produzido apenas com óleo de soja, afirmam que  $E_a$  deve se elevar com a adição de compostos antioxidantes. Chen *et al.*, (2011), utilizando diferentes compostos com atividade antioxidante, também obtiveram valores de  $E_a$  superiores aos valores encontrados para a amostra controle avaliada.

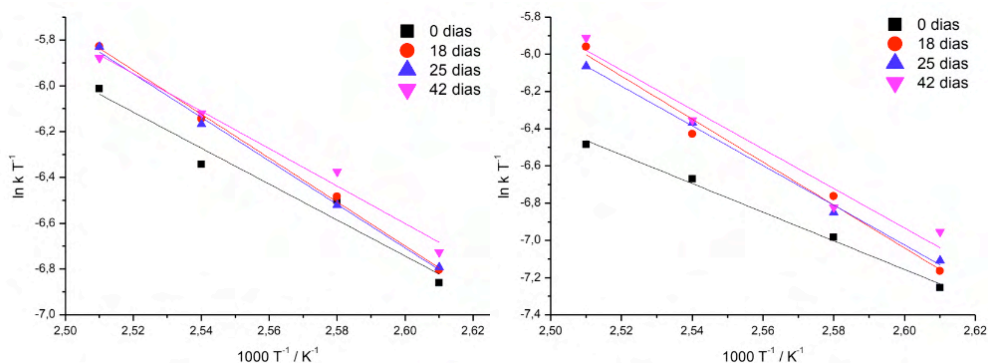
Galvan *et al.*, (2013) e Borsato *et al.*, (2014) descreveram que elevado grau de insaturação da cadeia química do biodiesel resulta em menores  $E_a$  para a reação de oxidação. Com isso, os menores valores de energia de ativação observados para a amostra controle, podem ser justificados em razão de que o biodiesel em questão é proveniente, em sua maior parcela, de óleo de soja, que por sua vez, apresenta em sua composição altos teores de ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMES) poli-insaturados, os quais possuem maior susceptibilidade às reações de oxidação.

A influência da temperatura nas reações é determinada pela energia de ativação, de forma que, reações com altas  $E_a$  caracterizam-se com maior dependência da temperatura e, uma pequena alteração na temperatura é suficiente para modificar a taxa de oxidação, enquanto, reações conduzidas por baixas  $E_a$  são moderadamente independentes da

temperatura (LEVENSPIEL, 1999; TAN *et al.*, 2001). Segundo Levenspiel (1999), reações com  $E_a$  na faixa de 40 a 400  $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$  são consideradas baixa e alta energia de ativação, respectivamente. Por conseguinte, o biodiesel estudado pôde ser considerado com baixa estabilidade oxidativa, uma vez que os valores de energia de ativação obtidos não foram elevados. No entanto, devido ao aumento na  $E_a$  do combustível na presença de extrato de alecrim, em comparação ao controle, exceto no ensaio inicial, houve um aumento na estabilidade em presença de antioxidantes naturais (SPACINO *et al.*, 2015).

Considerando que a reação de oxidação do biodiesel se sucede mediante formação do complexo ativado (ou estado de transição) de uma estrutura intermediária entre reagentes e produtos (GALVAN *et al.*, 2013), a determinação da entalpia e entropia de ativação ( $\Delta H^\ddagger$  e  $\Delta S^\ddagger$ ) foi realizada por meio da teoria do complexo ativado (ACT), desenvolvida por Eyring (Eq. 3), aplicando a regressão de  $\ln k/T$  versus  $1/T$ , que descreve uma reta com inclinação correspondente a  $(\Delta H^\ddagger/R)$  e intercepto  $[(\ln k_B/h + \Delta S^\ddagger/R)]$ .

A Figura 2 apresenta a regressão linear para os dados obtidos, referente ao controle e biodiesel mais extrato, a partir da expressão de Eyring (Eq. 3). Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) adquiridos para o controle variaram de 0,9802 a 0,9997 e de 0,9500 a 0,9949 para a amostra mais antioxidantes, indicando assim, adequação ao ajuste do modelo para os dados experimentais obtidos para relação entre temperatura e oxidação do biodiesel. Borsato *et al.*, (2014) e Galvan *et al.*, (2013) também obtiveram correlação linear similares ao estudarem os parâmetros termodinâmicos da reação de oxidação do biodiesel em presença de antioxidantes sintéticos e do biocombustível proveniente da mistura de óleo vegetal e gordura animal, respectivamente.



**Figura 2** – Regressão linear de  $\ln k/T$  versus  $1/T$  para controle e biodiesel contendo extrato.



Tempo (Dias)	Controle			Biodiesel + extrato		
	$\Delta H^\ddagger$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S^\ddagger$ (J.K <sup>-1</sup> .mol <sup>-1</sup> )	$\Delta G^\ddagger$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta H^\ddagger$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S^\ddagger$ (J.K <sup>-1</sup> .mol <sup>-1</sup> )	$\Delta G^\ddagger$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )
0	68,41	-143,86	124,59	66,36	-152,61	125,95
18	82,81	-106,04	124,22	100,05	-64,09	125,07
25	81,97	-108,30	124,26	91,58	-85,91	125,13
42	70,92	-136,14	124,08	90,93	-86,85	124,84

**Tabela 6** – Valores dos parâmetros termodinâmicos para o controle e biodiesel em presença de extrato.

$\Delta G^\ddagger$ : média dos valores nas temperaturas de 383,15, 388,15, 393,15 e 398,15 K

De acordo com a tabela 6, verificou-se que os valores de  $\Delta H^\ddagger$  elevaram-se na presença de antioxidantes, com exceção do ensaio inicial (0 dias) e que, em ambos os estudos, controle e biodiesel mais extrato, apresentaram valores de  $\Delta H^\ddagger$  positivos, apontando que para o aumento do nível de energia dos reagentes ao estado de transição, é requerido uma fonte externa de energia, caracterizando-se como um processo endotérmico. Dessa forma, quanto maior a entalpia de ativação, maior a estabilidade oxidativa do biodiesel (ONG *et al.*, 2013; BORSATO *et al.*, 2014).

Avaliando os resultados de entropia de ativação ( $\Delta S^\ddagger$ ), foram obtidos valores negativos em todos os ensaios, tanto para o controle, quanto para a amostra contendo antioxidantes. Os resultados negativos podem estar relacionados ao mecanismo de associação, que por sua vez, expressa a combinação dos reagentes para formação do estado de transição durante a reação. Com isso, o estado de transição configura-se mais ordenado comparado ao estado fundamental dos reagentes (ONG *et al.*, 2013).

A energia livre ( $\Delta G^\ddagger$ ) é utilizada para determinar a espontaneidade das reações químicas, em função da temperatura em questão. De acordo com os resultados, obtiveram-se valores positivos para todos os tratamentos, controle e biodiesel mais extrato, apontando que são reações endergônicas e não espontâneas, tendo ainda, apresentado maiores valores de energia livre de ativação de Gibbs para as amostras em presença dos antioxidantes naturais. Os valores de  $\Delta G^\ddagger$  positivos ( $\Delta G^\ddagger > 0$ ) podem estar associados aos elevados níveis energéticos atribuídos ao estado de transição ao invés dos reagentes de partida (ONG *et al.*, 2013). Segundo Ong *et al.*, (2013), embora o aumento da temperatura reflita no aumento da velocidade de reação, é observado redução na velocidade de reação com o aumento da energia livre de ativação, proporcionando maior estabilidade aos processos oxidativos.

## 4 | CONCLUSÕES

O método Rancimat demonstrou ser adequado para determinação dos parâmetros cinéticos e termodinâmicos da reação de oxidação do biodiesel na presença e ausência de antioxidantes naturais. Os parâmetros estudados relataram maior estabilidade à oxidação para o biodiesel contendo antioxidantes provenientes do extrato de alecrim.

A aplicação da equação de Eyring e Arrhenius para verificação da dependência da estabilidade oxidativa do biocombustível com a temperatura constataram-se apropriadas, uma vez que possibilitaram a determinação de  $k$ ,  $E_a$ ,  $\Delta H^\ddagger$ ,  $\Delta S^\ddagger$  e  $\Delta G^\ddagger$ . Os valores positivos para entalpia de ativação e energia livre de ativação de Gibbs e, negativos para entropia de ativação, descreveram a reação como não espontânea, endergônica e endotérmica.

## REFERÊNCIAS

DE ALMEIDA, Vanessa F. et al. Biodiesel production from mixtures of waste fish oil, palm oil and waste frying oil: Optimization of fuel properties. **Fuel Processing Technology**, v. 133, p. 152-160, 2015.

ANP Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis, 2019**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2021.

ARAÚJO, Francisca Diana da Silva; MOURA, Carla Verônica Rodarte de; CHAVES, Mariana H. Biodiesel metílico de *Dipteryx lacunifera*: preparação, caracterização e efeito de antioxidantes na estabilidade à oxidação. **Química Nova**, v. 33, n. 8, p. 1671-1676, 2010.

BORSATO, Dionisio et al. Kinetic and thermodynamic parameters of biodiesel oxidation with synthetic antioxidants: simplex centroid mixture design. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 25, n. 11, p. 1984-1992, 2014.

BRASIL. Resolução n. 798, de 1º de agosto de 2019, que altera a Resolução ANP n. 45 de agosto de 2014. Dispõe sobre a obrigatoriedade de adição de antioxidante em biodiesel independente da matéria prima utilizada na sua obtenção. **Diário Oficial da União**, 2019.

CHENDYNSKI, Leticia T. et al. Influence of copper and metallic alloys on the oxidation reaction of commercial biodiesel in mixture with natural antioxidant. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 30, n. 1, p. 90-96, 2019.

CHEN, Yi-Hung et al. Property modification of jatropha oil biodiesel by blending with other biodiesels or adding antioxidants. **Energy**, v. 36, n. 7, p. 4415-4421, 2011.

DA SYLVIO VIEIRA, Alexandre Sylvio Vieira et al. Análise técnico-social da produção de biodiesel no Brasil e no desenvolvimento agrícola do norte de Minas Gerais. **DRd-Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 789-809, 2020.

GALVAN, Diego et al. Determination of the kinetics and thermodynamics parameters of biodiesel oxidation reaction obtained from an optimized mixture of vegetable oil and animal fat. **Energy & fuels**, v. 27, n. 11, p. 6866-6871, 2013.

KIRTAY, Elif. Recent advances in production of hydrogen from biomass. **Energy conversion and management**, v. 52, n. 4, p. 1778-1789, 2011.

LEVENSPIEL, Octave. **Chemical reaction engineering**. John Wiley & Sons, 1999.

MESSIAS, Gabriel Benassi et al. Physical–chemical investigation of the oxidation reaction of biodiesel during storage in contact with carbon steel and 1020 steel in the presence of natural rosemary extract. **Biofuels**, 2019.

ONG, L. K. et al. Transesterification of leather tanning waste to biodiesel at supercritical condition: Kinetics and thermodynamics studies. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 75, p. 11-20, 2013.

SPACINO, Kelly Roberta et al. Determination of kinetic and thermodynamic parameters of the B100 biodiesel oxidation process in mixtures with natural antioxidants. **Fuel Processing Technology**, v. 137, p. 366-370, 2015.

TAN, C. P. et al. Application of Arrhenius kinetics to evaluate oxidative stability in vegetable oils by isothermal differential scanning calorimetry. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 78, n. 11, p. 1133, 2001.

## ÍNDICE REMISSIVO

### SÍMBOLOS

7 12, 30

#### A

Agrometeorologia 60

Alto do Cabo Frio 144, 145, 146, 153

Análise Ambiental 10, 1, 11, 48, 49

Análise Instrumental 129, 131, 133, 134, 141, 142, 143

Anomalia magnética 144, 147, 148, 149, 151, 152

Anos Finais do Ensino Fundamental 10, 12, 13, 14, 16, 30

Antioxidantes Naturais 117, 125, 126, 192

Aprendizagem Colaborativa Suportada por Computador 32, 34

Aquífero Bambuí 93, 94, 97, 103, 105, 106, 108

#### B

Barragem 224, 229, 241, 260

Batimetria 221, 224

Biodiesel 11, 12, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 198, 201

#### C

Canhão eletromagnético 111, 112, 113, 115

Código Python 161

Construção de fotocolorímetros 129

Contextualização 12, 16, 18, 33, 34, 37, 207, 209, 210, 212, 213, 214, 215

Covid-19 11, 86, 87, 89, 90

Cuenca Hidrográfica 74, 75, 76, 77

#### D

DEM 74, 76, 77, 78, 81, 82, 83

Drones 1, 2, 3, 6, 10

#### E

Educação Contextualizada 32

Ensino de Ciências 12, 13, 17, 30, 141, 142, 206, 207, 209, 218, 315

Ensino de Física 13, 13, 14, 16, 29, 30, 207, 219, 275, 276, 281, 282, 294, 301

Ensino de Matemática 161, 315

Estabilidade Oxidativa 117, 120, 122, 125, 126, 127, 190

Experimentos 21, 25, 26, 27, 28, 130, 131, 139, 212, 236, 237, 276, 277, 278, 279, 281, 294, 297, 298, 300, 301, 302

Expressões Algébricas 13, 202, 203, 204, 205, 206

## **F**

Fragilidade Ambiental 47, 50, 51, 52, 54, 56, 57, 58, 59

Frequências de Varrição 156

## **G**

Geoprocementos 74, 77, 82

Geotecnologias 1, 2, 5, 47, 49, 50, 56, 157

Gerenciamento 34, 37, 42, 43, 57, 94, 95, 241, 271

Gestão Ambiental 48, 57, 106, 264

## **I**

Imagens de satélite 2, 53, 60, 61

Impactos ambientais 5, 179, 264, 265, 266, 268, 269, 271, 272, 273, 308, 313

Injustiça social 93

Instrumentação com Arduino 275

## **L**

Laboratório Remoto 32, 34, 36, 37, 38, 39, 44

## **M**

Modelagem 12, 142, 176, 179, 190, 192, 224, 286, 292

Modelo Analítico 283, 285, 286, 287, 288, 290, 291

## **N**

Nitrato 93, 94, 104, 105, 106, 107

Nível d'água 221, 224, 234

Nível de redução 221

## **O**

Ordenamento Territorial 10, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 57, 58

## **P**

Pandemia 86, 87, 88

Período de Indução 117, 120, 121, 190, 191, 193, 194, 201

Pesquisa documental 207

Potencial Geológico 283

Pressões anormais 13, 236, 237, 239

Processamento Geográfico 156

Programação de Computadores 32, 33, 34, 35, 44

## **R**

Rancimat 117, 118, 120, 122, 126, 193

Receita culinária 202, 205

Recursos didáticos 207

Redes Neurais 57, 191, 192, 193, 195, 198, 199, 200, 201

Resíduos Sólidos 99, 100, 108, 264, 265, 267, 270, 271, 273, 274

Risco 27, 48, 91, 105, 177, 215, 241, 305, 308

Rupturas 241

## **S**

Saneamento 11, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 106, 107, 108, 109, 110, 245, 259, 274

Sazonalidade 68, 176

Sensores de baixo custo 13, 275

Sensoriamento Remoto 1, 2, 4, 5, 11, 58, 59, 60, 61, 62, 72, 73, 159, 308, 313

SIG 2, 10, 49, 50, 63, 74, 157, 159, 310

Sistema de Informação Geográfica 156, 157, 310

Smartphones 294, 295, 296, 297, 298, 300, 301, 302

Solenóide 111, 112, 113, 114, 115, 116

Suscetibilidade 12, 49, 151, 176, 178, 179, 182, 183, 188

## **T**

Tectonoestratigrafia 144

Teledetección 74

Termodinâmica 10, 12, 13, 15, 19, 20, 22, 30, 278

Teste de Primalidade 161, 164, 166, 172

TMI e TMIN 93, 106

Trocadores de calor solo-ar (TCSA) 283

## V

Vazamentos de óleo 176, 179

Vulcânico 144, 145, 153

# Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares

das ciências exatas e da terra





# Conhecimentos pedagógicos e conteúdos disciplinares

das ciências exatas e da terra

