

Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2



Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Atena
Editora
Ano 2020

Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2



Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta
(Organizadores)

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecário

Maurício Amormino Júnior

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 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.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

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
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
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto 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
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
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. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª 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
Profª Drª 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
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
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. 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 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 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 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 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
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 Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
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
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. 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
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

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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
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. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª 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
Profª 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. 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
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
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 Alborno – 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
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª 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. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
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

Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará

Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Profª 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

Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão

Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo

Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana

Profª 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
Bibliotecário Maurício Amormino Júnior
Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Vanessa Mottin de Oliveira Batista
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: Henrique Ajuz Holzmann
João Dallamuta

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

R436 Resultados das pesquisas e inovações na área das engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-456-6

DOI 10.22533/at.ed.566200510

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas. 3. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João.

CDD 624

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais e os conceitos ambientais, vem cada vez mais ganhando espaço nos estudos das grandes empresas e de pesquisadores. Esse aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral. Assim em um cenário cada vez mais competitivo, desenvolver novas maneiras de melhoria nos processos industriais, bem como para o próprio dia a dia da população é uma das buscas constantes das áreas de engenharia.

Nesse livro conceitos voltados a engenharia do meio ambiente, apresentando processos de recuperação e aproveitamento de resíduos e uma melhor aplicação dos recursos disponíveis no ambiente, além do panorama sobre novos métodos de obtenção limpa da energia.

Ainda traz assuntos voltados ao desenvolvimento de materiais, buscando melhorias no processo e no produto final, sendo uma busca constante a redução e reutilização dos resíduos.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela con iança e espírito de parceria.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

RESÍDUOS SÓLIDOS NO IFSP – CAMPUS SÃO CARLOS

Adriana Antunes Lopes

José Henrique de Andrade

DOI 10.22533/at.ed.5662005101

CAPÍTULO 2..... 8

OPORTUNIDADES DA VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA COLHEITA, PROCESSAMENTO E TORREFAÇÃO DO GRÃO DE CAFÉ NO BRASIL

Mauro Donizeti Berni

Paulo Cesar Manduca

DOI 10.22533/at.ed.5662005102

CAPÍTULO 3..... 22

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ADVINDOS DA MINERAÇÃO DE COBRE E OURO PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE TERRA COMPACTADA

Jéssica Azevedo Coelho

Aline Rodrigues da Silva Lira

Aryágilla Phaôla Ferreira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.5662005103

CAPÍTULO 4..... 34

CARACTERIZAÇÃO QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS RESÍDUOS GERADOS EM UM SHOPPING CENTER EM BALNEÁRIO CAMBORIÚ (SC)

Bruna Emanuele Napoli Simioni

Rafaela Picoletto

DOI 10.22533/at.ed.5662005104

CAPÍTULO 5..... 42

DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTOR ANAERÓBIO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ALIMENTÍCIOS

Tatiane Akemi Ramalho Yamashita

Isabel Cristina de Barros Trannin

Teófilo Miguel de Souza

DOI 10.22533/at.ed.5662005105

CAPÍTULO 6..... 56

ESTUDO DO CONFORTO ACÚSTICO EM AMBIENTE ESCOLAR

Otávio Akira Sakai

Grasielle Cristina dos Santos Lembi Gorla

Rodrigo de Oliveira

Gustavo Silva Veloso de Menezes

Joyce Ronquim Wedekind

DOI 10.22533/at.ed.5662005106

CAPÍTULO 7	66
ANÁLISE TÉRMICA E ACÚSTICA DE PLACAS DE VEDAÇÃO EM COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA	
Bruna de Oliveira Criado	
Fernando Sérgio Okimoto	
DOI 10.22533/at.ed.5662005107	
CAPÍTULO 8	80
COMPARATIVE ANALYSIS OF A TRANSIENT HEAT FLOW AND THERMAL STRESSES BY ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS	
Gisele Vilela Almeida	
Nailde de Amorim Coelho	
Nasser Samir Alkmim	
DOI 10.22533/at.ed.5662005108	
CAPÍTULO 9	93
PRODUÇÃO DE NANOFIBRAS POLIMÉRICAS ELETROFIADAS PARA MATERIAIS INTELIGENTES	
Giovana Miti Aibara Paschoal	
Bruno Henrique de Santana Gois	
André Antunes da Silva	
Pedro Leonardo Silva	
Wilson Silva do Nascimento	
Jessyka Carolina Bittencourt	
Beatriz Marques Carvalho	
Roger Clive Hiorns	
Clarissa de Almeida Olivati	
Deuber Lincon da Silva Agostini	
DOI 10.22533/at.ed.5662005109	
CAPÍTULO 10	102
PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE TRANSISTORES DE FILME FINO DE ÓXIDOS METÁLICOS PROCESSADOS POR SOLUÇÃO	
João Mendes	
João Paulo Braga	
Giovani Gozzi	
Lucas Fugikawa-Santos	
DOI 10.22533/at.ed.56620051010	
CAPÍTULO 11	120
SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS ATÉ 9 MN	
Frank Omena de Moura	
Carlos Alberto Fabricio Junior	
DOI 10.22533/at.ed.56620051011	
CAPÍTULO 12	124
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE JUNTAS SOLDADAS	

APLICANDO A TÉCNICA DE CORRELAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS

Ycaro Jorge Maia da Costa
José Máspoli Ferreira Pereira
Rodrigo Nogueira de Codes

DOI 10.22533/at.ed.56620051012

CAPÍTULO 13..... 137

CARACTERIZAÇÃO METALOGRÁFICA DE AÇOS MULTIFÁSICOS

Rafael Morel Martins
Bárbara Silva Sales Guimarães

DOI 10.22533/at.ed.56620051013

CAPÍTULO 14..... 148

APLICAÇÃO DA SINERGIA ENTRE CORANTE SINTÉTICO N719 E NATURAIS DO GÊNERO *OENOCARPUS* EM CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES

Rafael Becker Maciel
Everson do Prado Banczek
Guilherme José Turcatel Alves
Paulo Rogério Pinto Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.56620051014

CAPÍTULO 15..... 154

PRODUÇÃO DE LIPASES FÚNGICAS DE *Penicillium sumatrense* POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO UTILIZANDO SEMENTE DE BARU (*Dipteryx alata*)

Tayrine Mainko Hoblos Pozzobon
Aline Danielly Awadallak
Pedro Oswaldo Morell
Gustavo de Castilho Baldus
Leonardo Pedranjo Silva
Ruana Barbosa Benitez
Edson Antônio da Silva
Marcia Regina Fagundes-Klen
Francisco de Assis Marques
Maria Luiza Fernandes Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.56620051015

CAPÍTULO 16..... 166

PRODUÇÃO DE MANGANÊS PEROXIDASE A PARTIR DO *CERIPORIOPSIS SUBVERMISPORA*

Gabriela Mundim Maciel
Sandra de Cássia Dias

DOI 10.22533/at.ed.56620051016

CAPÍTULO 17..... 177

EXTRATO DE CASCAS DO *Allium sativum* L. COMO ANTIOXIDANTE PARA

BIODIESEL DE CANOLA

Débora Yumi Pelegrini
Nayara Lais Boschen
Cynthia Beatriz Furstenberger
Everson do Prado Banczek
Marilei de Fatima Oliveira
Paulo Rogério Pinto Rodrigues

DOI 10.22533/at.ed.56620051017

CAPÍTULO 18..... 188

USO DA TERRA DE MUCUGÊ E IBICOARA-BA MEDIANTE AVANÇO DA AGRICULTURA COM SENSORIAMENTO REMOTO

Luana Nascimento da Silva
Vanessa Santos da Palma
Luana da Silva Guedes
Everton Luiz Polkeing

DOI 10.22533/at.ed.56620051018

CAPÍTULO 19..... 193

DESAFIOS NA IMPLANTAÇÃO DAS BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO (BPFs) EM AGROINDÚSTRIAS FAMILIARES

Rosângela Oliveira Soares
Fátima Regina Zan
Manuel Luís Tibério
Artur Fernando Arede Correia Cristovão
Paulino Varela Tavares
Dieter Rugard Siedenberg

DOI 10.22533/at.ed.56620051019

CAPÍTULO 20..... 205

O RECORTE DA TRAJETÓRIA TECNOLÓGICA AGRIBIOTECNOLÓGICA NO BRASIL E NO MUNDO NOS ÚLTIMOS 30 ANOS

Djeimella Ferreira de Souza
Anna Flavia Moreira Martins de Almeida Pereira
Rubén Dario Sinisterra Millán

DOI 10.22533/at.ed.56620051020

CAPÍTULO 21..... 218

AJUSTE DE EQUAÇÕES VOLUMÉTRICAS A PARTIR DO DIÂMETRO DO TOCO E DAP PARA A ESPÉCIE DE CEDRO AMAZONENSE (*Cedrelinga catenaeformis*)

Carla Alessandra dos Santos
Murielli Garcia Caetano
Pedro Paulo Gomes de Oliveira
Vinícius Augusto Morais
Jociane Rosseto de Oliveira Silva
Ivan Cleiton de Oliveira Silva

DOI 10.22533/at.ed.56620051021

CAPÍTULO 22.....	225
ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO PROCESSO CONSTRUTIVO EM ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCO CERÂMICO	
Anderson Pereira Cardoso	
Mágna Lima da Cruz	
Weverton Gabriel do Nascimento Mendonça	
Ana Paula de Santana Bomfim	
DOI 10.22533/at.ed.56620051022	
CAPÍTULO 23.....	234
ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA: EMPRESA BAJA ESPINHAÇO	
Rafaela Ribeiro Reis	
Juliani Ramos Belício	
Marcelino Serretti Leonel	
Antonio Genilton Sant´Anna	
DOI 10.22533/at.ed.56620051023	
CAPÍTULO 24.....	248
GUIDEAPP: FERRAMENTA DE AUXÍLIO À MOBILIDADE DE DEFICIENTES VISUAIS	
Brenno Duarte de Lima	
Hugo Silva Nascimento	
Jacó Alves Graça	
Jonathan Costa Matos	
Natan Silva Ferreira	
Joab Bezerra de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.56620051024	
CAPÍTULO 25.....	257
O TRANSPORTE COLETIVO E A OPÇÃO SOB DEMANDA: O ESTUDO DE CASO DE GOIÂNIA	
Mauro Cesar Loyola Branco	
Giovani Manso Ávila	
DOI 10.22533/at.ed.56620051025	
CAPÍTULO 26.....	269
UMA INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE DISPOSITIVOS DA ENGENHARIA DE TRÁFEGO NO SISTEMA VIÁRIO: INTERVENÇÃO NA RUA PADRE AGOSTINHO	
Marcia de Andrade Pereira Bernardinis	
Luziane Machado Pavelski	
Bruna Marcelli Claudino Buher Kureke	
Alana Tamara Gonçalves Molinari	
DOI 10.22533/at.ed.56620051026	
CAPÍTULO 27.....	276
A PARTICIPAÇÃO DA MULHER NOS CURSOS DE ENGENHARIA DA UFERSA:	

UM ESTUDO DE CASO NO CAMPUS MOSSORÓ

Camila Gabrielly Fernandes de Souza

Maria Aridenise Macena Fontenelle

DOI 10.22533/at.ed.56620051027

CAPÍTULO 28..... 292

**INVESTIGATION OF THE MILLING EFFICIENCY OF THE X22CrMoV12-1 STEEL
WITH VC AFTER 80 AND 100 HOURS**

Roberta Alves Gomes Matos

Bruna Horta Bastos Kuffner

Gilbert Silva

DOI 10.22533/at.ed.56620051028

SOBRE OS ORGANIZADORES 298

ÍNDICE REMISSIVO..... 299

COMPARATIVE ANALYSIS OF A TRANSIENT HEAT FLOW AND THERMAL STRESSES BY ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS

Data de aceite: 01/10/2020

Data de submissão: 28/06/2020

Gisele Vilela Almeida

Universidade de Brasília
Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/8441319933296961>

Nailde de Amorim Coelho

Universidade Federal do Vale do São Francisco
Juazeiro – BA

<http://lattes.cnpq.br/1159919135214775>

Nasser Samir Alkmim

Universidade de Brasília
Brasília – DF

<http://lattes.cnpq.br/9182834189918100>

RESUMO: O estudo dos problemas de fluxo de calor é de extrema importância na engenharia, havendo necessidade de se conhecer as temperaturas impostas e geradas, quando apropriado, nas partes estruturais para poder avaliar as tensões que podem surgir devido às variações térmicas. Essas tensões surgem devido a restrições impostas, ou seja, os corpos não podem se mover livremente e, conseqüentemente, podem surgir fissuras indesejáveis quando as tensões são maiores do que a capacidade de resistência das partes tensionadas. A análise desses problemas pode ser feita de forma analítica ou numérica, com a utilização de métodos de cálculo, como o Método das Diferenças Finitas (FDM) e o Método dos Elementos Finitos (FEM), com auxílio de

programas computacionais como MATLAB, PYTHON e ANSYS, como usado neste trabalho. Os resultados aqui apresentados mostram casos simples de variação térmica transitória e acoplamento termomecânico por dois métodos de análise, visando a validação dos métodos numéricos e softwares utilizados. As soluções foram satisfatórias, as temperaturas e tensões coincidentes para os diferentes métodos, possibilitando começar a estudar problemas mais complexos com confiança no código implementado.

PALAVRAS-CHAVE: Problemas Termomecânicos, Método das Diferenças Finitas, Método dos Elementos Finitos, Tensões Térmicas, Temperatura.

ANÁLISE COMPARATIVA DO FLUXO DE CALOR EM REGIME TRANSIENTE E TENSÕES TÉRMICAS POR MÉTODOS ANALÍTICOS E NUMÉRICOS

ABSTRACT: The study of heat flow problems is of extreme importance in engineering, there is a need to know the temperatures imposed and generated, when appropriate, in the structural parts to be able to evaluate the stresses that can arise due to the thermal variations. These stresses arise due to imposed constraints, ie bodies can not move freely and consequently undesirable cracks may arise when the stresses are greater than the resistive capacity of the stressed parts. The analysis of these problems can be done in both analytical or numerical way, with the use of calculation methods, such as the Finite Difference Method (FDM) and the Finite Element Method (FEM), with aid of computational

programs such as MATLAB, PYTHON and ANSYS, as used in this work. The results presented here show simple cases of transient thermal variation and thermomechanical coupling by two methods of analysis, aiming at the validation of the numerical methods and softwares used. The solutions were satisfactory, the temperatures and stresses were coincident for different methods, making possible to start studying more complex problems with confidence in the implemented code.

KEYWORDS: Thermomechanical Problems, Finite Difference Method, Finite Element Method, Thermal Stresses, Temperature.

1 | INTRODUCTION

Heat flow is a common phenomenon in engineering. The temperature variation may be responsible for problems in structural parts due to the appearance of thermal stresses that may exceed the design resistive capacity and, consequently, give rise to fissures.

The study of heat equations is necessary so that it is possible to analyze the behavior of the involved materials in any project. The imposed conditions, initial and boundary conditions have direct influence on the equation results.

One of the main objectives of heat conduction analysis is to know the temperature distribution, ie, how the temperature varies with the position in the domain. Conductive heat flow at any point in the middle or surface of a body can be determined by the Fourier law, represented by Partial Differential Equations (PDEs) INCOPRERA (1990).

Among the various mechanisms for solving heat transfer problems, there are the Finite Differences Method (FDM), easy to interpret and manipulate, the Finite Element Method (FEM), widely used in engineering, as well as the Analytical Methods, responsible for Mathematical solutions.

The MDF is a numerical procedure that solves PDEs by discretizing a continuous physical domain into a finite discrete mesh, approaching each partial derivative in the EDP by approximations of finite algebraic differences (HOFFMANN, 2001). The finite difference equation must represent the exact solution of the PDE at each point of the discretized region in which the problem solution is to be obtained (CÔRREA, 2011).

The FEM provides a general and systematic technique for the construction of base functions, which are necessary to model solutions of approximate boundary problems using, for example, the Galerkin method. According to (BECKER, 1981), it is possible to construct approximate solutions for differential equations provided with a boundary condition, by dividing the domain of the solution into a finite number of subdomains.

Thermomechanical coupling is an alternative to problem solving using the

methods mentioned. First, results of thermal analyzes are obtained. With the thermal distribution associated with the mechanical boundary conditions found, it is possible to find the stresses arising from the heat flux.

Therefore, this work intends to present analysis of heat flow and thermomechanical stresses for simple problems with the objective of accomplishing a preliminary and necessary step for studying the coupled problem in question. Thus, in this work will be presented comparisons between the Finite Element and the Finite Differences Methods for numerical solutions of the General Two-dimensional Heat Conduction Equation in Transient Regime and the coupled case of a plate submitted to a thermal variation.

2 | THEORETICAL FUNDAMENTS

Analytical solutions to thermal problems, depending on the geometry and imposed initial and boundary conditions can be very complex or even impossible to determine. Numerical methods allow an easier and faster solution to these problems with the aid of computational tools. Therefore, in this work, the analytical methods, the FDM and the FEM were used, as will be presented in the sequence.

2.1 General heat conduction equation

Heat conduction can be quantified in terms of differential equations. The mathematical model that describes the general heat conduction equation in rectangular coordinates, defined by (ÇENGEL e. all, 2006) is given by:

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

In which \dot{q} is the heat generation in respect to time (W/m^3), k is the thermal conductivity ($W/m^\circ C$), c is the specific heat ($J/g^\circ C$), ρ is specific mass (Kg/m^3), $\frac{\partial T}{\partial t}$ is the temperature variation in time, and $\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \nabla^2 T$ represents the thermal gradient.

2.2 General heat conduction equation by finite differences method (FDM)

The FDM allows the temperature calculation at any point in the domain (Figure 1) from its boundary conditions.

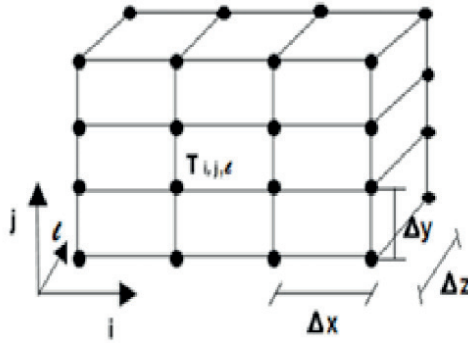


Figure1: Finite Differences Mesh Example.(COELHO,2016).

The method consists in the substitution of differential equations by algebraic equations, making derivative transformations into finite differences. Based on studies carried out by (COELHO,2016) the substitutions of First Order Differential Equations and Second Order Differential Equations are shown in table (1) by their respective Finite Differences forms:

1ª Order of Derivatives:		2ª Order of Derivatives	
$\frac{\partial T}{\partial x}$	$\frac{T_{i+1} - T_{i-1}}{x_{i+1} - x_{i-1}} = \frac{T_{i+1} - T_{i-1}}{2\Delta x}$	$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$	$\frac{T_{i+1,j,l} - 2T_{i,j,l} + T_{i-1,j,l}}{(x_{i+1} - x_{i-1})^2} = \frac{T_{i+1,j,l} - 2T_{i,j,l} + T_{i-1,j,l}}{\Delta x^2}$
$\frac{\partial T}{\partial y}$	$\frac{T_{j+1} - T_{j-1}}{y_{j+1} - y_{j-1}} = \frac{T_{j+1} - T_{j-1}}{2\Delta y}$	$\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$	$\frac{T_{i,j+1,l} - 2T_{i,j,l} + T_{i,j-1,l}}{(y_{j+1} - y_{j-1})^2} = \frac{T_{i,j+1,l} - 2T_{i,j,l} + T_{i,j-1,l}}{\Delta y^2}$
$\frac{\partial T}{\partial z}$	$\frac{T_{l+1} - T_{l-1}}{z_{l+1} - z_{l-1}} = \frac{T_{l+1} - T_{l-1}}{2\Delta z}$	$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$	$\frac{T_{i,j,l+1} - 2T_{i,j,l} + T_{i,j,l-1}}{(z_{l+1} - z_{l-1})^2} = \frac{T_{i,j,l+1} - 2T_{i,j,l} + T_{i,j,l-1}}{\Delta z^2}$

Table 1: First and Second order derivatives expressions approximated through the FDM.

In the transient case there will be at least one time derivative. According to [5], the term $\frac{\partial T}{\partial t}$, with time increments (k), is defined as:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \quad (2)$$

By replacing the ODEs with the corresponding differences in Eq. (1), we define the general heat conduction equation in three-dimensional finite differences:

$$\frac{T_{i+1,j,l}^k - 2T_{i,j,l}^k + T_{i-1,j,l}^k}{\Delta x^2} + \frac{T_{i,j+1,l}^k - 2T_{i,j,l}^k + T_{i,j-1,l}^k}{\Delta y^2} + \frac{T_{i,j,l+1}^k - 2T_{i,j,l}^k + T_{i,j,l-1}^k}{\Delta z^2} + \frac{q^k}{k} = \frac{1}{D} \frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t} \quad (3)$$

Beign $D = \frac{k}{\rho c}$, known as thermal diffusivity.

Considering $\Delta x^2 = \Delta y^2 = \Delta z^2$, and simplifying Eq. (3), arise the Eq. (4):

$$T_i^{k+1} = F(T_{i+1,j,l}^k + T_{i-1,j,l}^k + T_{i,j+1,l}^k + T_{i,j-1,l}^k + T_{i,j,l+1}^k + T_{i,j,l-1}^k) + (1 - 6F)T_i^k + G \quad (4)$$

In which,

$$F = \frac{\Delta t \cdot D}{\Delta x^2} \quad (5)$$

$$G = \frac{q^k \cdot \Delta x^2 \cdot \Delta t}{\rho c} \quad (6)$$

The expression in FDM allows the calculation of temperature at any point in the domain. The virtual points outside the domain are determined by the boundary conditions. The application of the FDM expression to all points of the domain leads to a system of n equations with n unknowns, of type $Ax = B$, which is solved by the classical mathematical methods in MatLab (COELHO,2016).

2.3 General heat conduction equation by finite elements method (FEM)

According to (COELHO, 2012), the temperature distribution $T(x, y, z, t)$ inside the solid body is defined as:

$$I = \frac{1}{2} \iiint_V \left[K \left(\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right) - 2 \left(\dot{q} - \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right) T \right] dV \quad (7)$$

Using Galerkin's Method as solution to Eq. (7), the following steps were adopted, [19]:

1. Divide the domain V into E finite elements with p nodes;
2. Assume the appropriate variational form of T in finite elements with elements, expressed by:

$$T^{(e)}(x, y, z, t) = [N(x, y, z)] \vec{T}^{(e)} \quad (8)$$

where:

$$[N(x, y, z)] = [N_1(x, y, z) \quad N_2(x, y, z) \quad \dots \quad N_p(x, y, z)] \quad (9)$$

$$\vec{T}^{(e)} = \begin{bmatrix} T_1(t) \\ \vdots \\ T_2(t) \end{bmatrix} \quad (10)$$

3. The integral of the weighted residue on the element domain is set equal to zero, having the same weights as the interpolation functions N_i . If the solution of the previous equation is not exact, it is replaced by the differential equation, which instead of zero will have a different value called the residual. Thus, the criterion to be satisfied at each instant of time is:

$$\mathbf{I} = \iiint_{V^e} \left[\mathbf{N}_i \left(\mathbf{k} \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial z} \right) \right) \right) + \dot{q} - \rho c \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial t} \right] dV \quad (11)$$

Rewriting the first termo of the integral:

$$\iiint_{V^e} \mathbf{N}_i \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) dV = - \iiint_{V^e} \mathbf{k} \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial x} \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) dV + \iiint_{V^e} \mathbf{N}_i \mathbf{k} \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) \mathbf{l}_x dS \quad (12)$$

Being \mathbf{l}_x the cosine in x-direction. For the complete equation:

$$- \iiint_{V^e} \mathbf{k} \left[\frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial x} \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) + \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial y} \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial y} \right) + \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial z} \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial z} \right) \right] dV + \iiint_{V^e} \mathbf{N}_i \mathbf{k} \left[\left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) \mathbf{l}_x + \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial y} \right) \mathbf{l}_y + \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial z} \right) \mathbf{l}_z \right] dS + \iiint_{V^e} \mathbf{N}_i \mathbf{k} \left(\dot{q} - \rho c \frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial t} \right) dV \quad (13)$$

The boundary of element $^{(e)}$ is composed of $S_1^{(e)}$, $S_2^{(e)}$ and $S_3^{(e)}$. The surface integral equals to zero due to T_0 in $S_1^{(e)}$, the derivatives of $T^{(e)}$ in respect to x, y and z are zero too. In $S_2^{(e)}$ and $S_3^{(e)}$, the boundary conditions satisfies the problem, thus having as surface integral in $S_2^{(e)}$ and $S_3^{(e)}$:

$$\begin{aligned} & \iint_{S_2^{(e)} + S_3^{(e)}} \mathbf{N}_i \mathbf{k} \left[\left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial x} \right) \mathbf{l}_x + \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial y} \right) \mathbf{l}_y + \left(\frac{\partial \mathbf{T}^{(e)}}{\partial z} \right) \mathbf{l}_z \right] dS \\ & = \iint_{S_2^{(e)}} \mathbf{N}_i \mathbf{q} dS_2 - \iint_{S_2^{(e)}} \mathbf{h}(\mathbf{T}^{(e)} - \mathbf{T}_\infty) dS_3 \end{aligned} \quad (14)$$

The matricial form of the equation is:

$$[\mathbf{K}_1^{(e)}] \bar{\mathbf{T}}^{(e)} + [\mathbf{K}_2^{(e)}] \bar{\mathbf{T}}^{(e)} + [\mathbf{K}_3^{(e)}] \bar{\mathbf{T}}^{(e)} - \bar{\mathbf{P}}^{(e)} = \bar{\mathbf{0}} \quad (15)$$

In which:

$$\mathbf{K}_{1ij}^{(e)} = - \iiint_{V^e} \mathbf{k} \left[\frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial x} \left(\frac{\partial \mathbf{T} \mathbf{N}_j}{\partial x} \right) + \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial y} \left(\frac{\partial \mathbf{T} \mathbf{N}_j}{\partial y} \right) + \frac{\partial \mathbf{N}_i}{\partial z} \left(\frac{\partial \mathbf{T} \mathbf{N}_j}{\partial z} \right) \right] dV \quad (16)$$

$$\mathbf{K}_{2ij}^{(e)} = \iint_{S_3^{(e)}} \mathbf{h} \mathbf{N}_i \mathbf{N}_j dS_3 \quad (17)$$

$$\mathbf{K}_{3ij}^{(e)} = \iint_{V^{(e)}} \rho c \mathbf{N}_i \mathbf{N}_j dV \quad (18)$$

$$\bar{\mathbf{P}}^{(e)}_i = \iint_{V^{(e)}} \dot{q} \mathbf{N}_i dV - \iint_{S_2^{(e)}} \mathbf{N}_i \mathbf{q} dS_2 - \iint_{S_2^{(e)}} \mathbf{h}(\mathbf{T}_\infty) dS_3 \quad (19)$$

4. The matrix elements can be written in the usual form:

$$[\mathbf{K}_3] \bar{\mathbf{T}}^{(e)} + [\mathbf{K}^{(e)}] \bar{\mathbf{T}}^{(e)} = \bar{\mathbf{P}} \quad (20)$$

$$[\mathbf{K}_3] = \sum_{e=1}^E [\mathbf{K}_3^{(e)}] \quad (21)$$

$$[K] = \sum_{e=1}^E [K_1^{(e)} + K_2^{(e)}] \quad (22)$$

$$\bar{P} = \sum_{e=1}^E [\bar{P}^{(e)}] \quad (23)$$

The equations must be solved by incorporating the boundary conditions and the initial conditions. The expressions $[K_1(e)]$, $[K_2(e)]$ e $[K_3(e)]$ and $P(e)$ are written as matrixes with notation:

$$K_1^{(e)} = \iiint_{V_e} [B]^T [D] [B] dV \quad (24)$$

$$K_2^{(e)} = \iiint_{S_3^e} h [N]^T [N] dS_3 \quad (25)$$

$$K_3^{(e)} = \iiint_{V_e} \rho c [N]^T [N] dV \quad (26)$$

$$\bar{P}^{(e)} = \bar{P}_1^{(e)} - \bar{P}_2^{(e)} + \bar{P}_3^{(e)} \quad (27)$$

Where:

$$\bar{P}_1^{(e)} = \iiint_{V_e} \dot{q} [N]^T dV \quad (28)$$

$$\bar{P}_2^{(e)} = \iint_{S_3^e} q [N]^T dS_2 \quad (29)$$

$$\bar{P}_3^{(e)} = \iint_{S_3^e} h T_\infty [N]^T dS_3 \quad (30)$$

$$\bar{P}^{(e)} = \bar{P}_1^{(e)} - \bar{P}_2^{(e)} + \bar{P}_3^{(e)} \quad (27)$$

$$[D] = \begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 \\ 0 & k_y & 0 \\ 0 & 0 & k_z \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & \frac{\partial N_2}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_p}{\partial x} \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_2}{\partial y} & \dots & \frac{\partial N_p}{\partial y} \\ \frac{\partial N_1}{\partial z} & \frac{\partial N_2}{\partial z} & \dots & \frac{\partial N_p}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (32)$$

3 I RESULTS

The presented results were developed by FDM and FEM in the first problem, with implementation in MATLAB and PHYTON, respectively, showing the transient heat flux for a situation with heat generation. In the second problem, results are displayed for a thermomechanical coupling using the analytical solution compared to

the FEM using the ANSYS WORKBENCH software.

3.1 Complete 2D heat equation with internal heat generation

The proposed case consists of a concrete plate of unit dimensions, with internal heat generation. The points analyzed were P1, P2 and P3, which are located in the center line of the x-axis, 0.25 m from the upper surface, at the plate central point and 0.25 from the lower surface of the y-axis, respectively. The adopted heat generation is represented by $q' = q_0 \cdot m \cdot e^{(-mt)}$, where $q_0 = 200 \text{ J/m}^3\text{s}$.

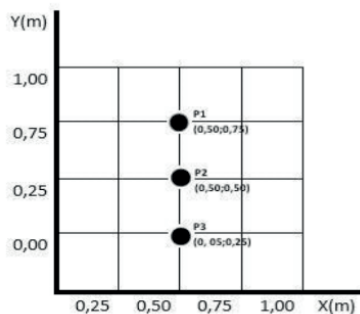


Figure 2: Plate and points analyzed by equation.

The considered thermal and mechanical properties are in Tab. (2):

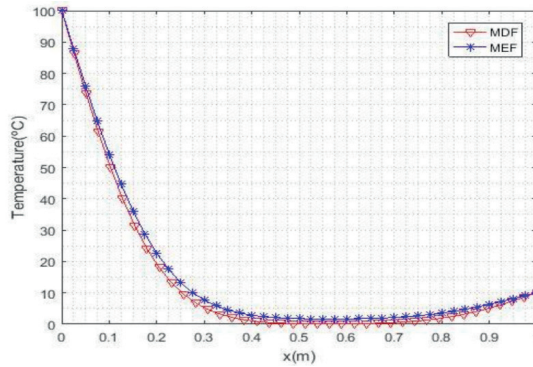
Property	SI	Valor
Thermal Conductivity	k	1,79 (W/m.°C)
Specific Heat	c	1000(J/g.°C)
Specific Mass	ρ	2388(Kg/m ³)
Thermal Expansion Coefficient	α	$16,67 \cdot 10^{-6}$ (/ °C)
Elasticity Module	E	210000MPa
Conductive Heat Transfer Coefficient	h	13,95 W/mK

Table 2: Thermal and mechanical properties.

3.1.1 Analysis of results

The comparison between results was performed by comparing the temperature evolution curves obtained by the numerical solutions of the FDM and FEM at the stipulated time of 17280 s, as a function of the positions shown in graphic (1,2). The first graph, graphic (02), considered the position variation only around the x-axis by adopting the central position of the plate (0.50 m) at y. In the abscissa axis the

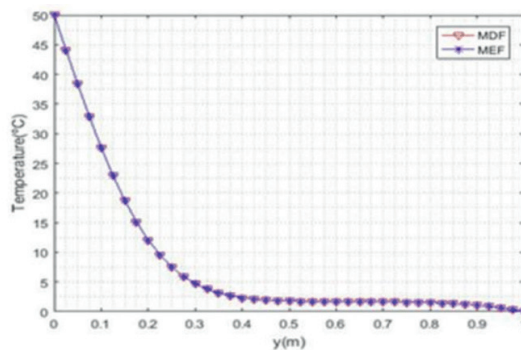
position variations in x (m) were considered and in the ordinates the temperature variation ($^{\circ}\text{C}$).



Graphic1: Temperature along the x -axis for full 2D equation.

Analyzing graphic. (1) it can be seen that in the position $x = 0.00$ m the temperature corresponds to 100°C , and for position $x = 1.00$ m to 10°C , which are the initial boundary conditions. In other positions, the results overlap, showing that the results obtained are reliable. The graphic. (2) considered the position variation only around the y -axis and adopted the central position (0.50 m) for x .

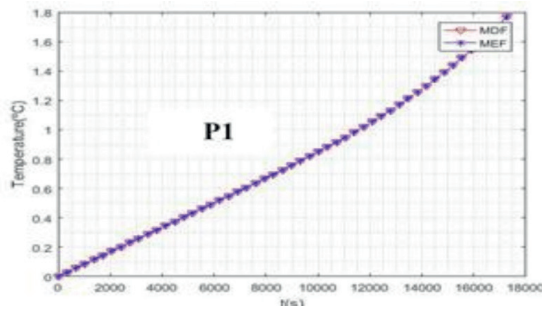
In the abscissa axis are the position variations in y (m) and in the ordinates the temperature variation ($^{\circ}\text{C}$).



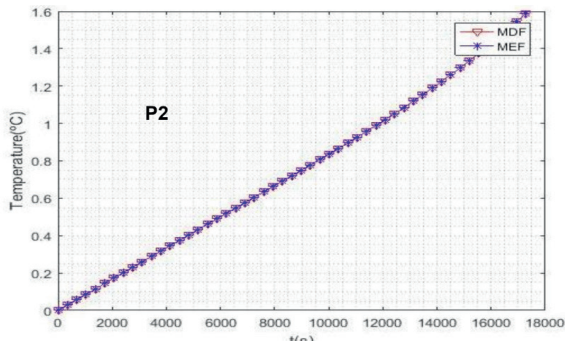
Graphic 2: Temperature along the y -axis for the complete 2D equation.

As in the graphic (2) and graphic. (3), the temperatures dependent on the boundary conditions remained the same, at 50°C and 0°C , and the other points presented overlapping results.

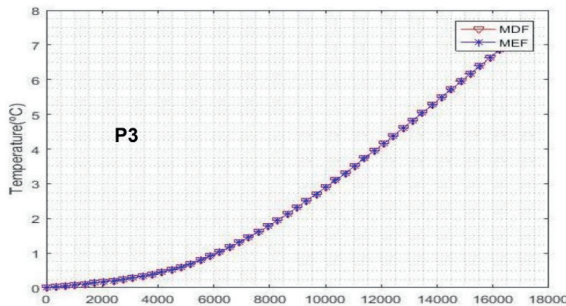
Afterward, the temperature evolution was analyzed as a function of time by the two numerical methods at three points on the plate (P1, P2, and P3). The point P1 is located at the coordinates $x = 0.50\text{m}$ and $y = 0.25\text{m}$. P2 at coordinates $x = 0.50\text{m}$ and $y = 0.50\text{m}$ and point P3 at coordinates $x = 0.50\text{m}$ and $y = 0.75\text{m}$. The comparisons can be seen in Graphics. (3a), (3b) and (3c).



Graphic 3a: Transient temperature analysis of the Point (P1).



Graphic 3b: Transient temperature analysis of the Point (P2).



Graphic 3c: Transient temperature analysis of the Point (P3).

In all the Graphics (3), it can be observed that the results obtained by FDM and FEM are coincident, showing a good treatment of data and that both are efficient in the solution of heat problems.

3.2 Thermomechanical coupling in a rectangular plate

In this section, numerical-analytical results will be compared for the case of rectangular plate with fixed boundary conditions subject to a non-uniform heat variation ΔT , according to Fig. (3), as proposed by (SZILARD,2004).

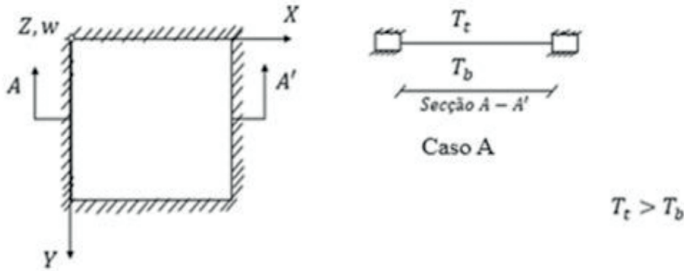


Figure 3: Comparison of the mechanical results for the bi-anchored beam.

Considering the edges of the plate free to slide, but with restriction to rotation, case A, the moment in the plate is given by Eq. (33).

$$M = -\frac{D\alpha(\Delta T)}{h}(1 + \nu) \quad (33)$$

Being M the moment due to the temperature gradient (ΔT); $D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}$ is the flexural stiffness and ν is the Poisson's coefficient.

The correspondent maximum stress $\sigma_{max,b}$ is given by:

$$\sigma_{max,b} = \pm \frac{6M}{h^2} \quad (34)$$

Was modeled in ANSYS Workbench a solid body of dimensions $(x, y, z) = (0.5, 0.5, 0.1)$, as in Fig. (07), with temperatures $T = 0^\circ\text{C}$ at $z = 0.0\text{ m}$ and $T = 100^\circ\text{C}$ at $z = 0.1\text{ m}$. The results for the temperatures can be visualized in Fig. (04), presenting a uniform thermal distribution.

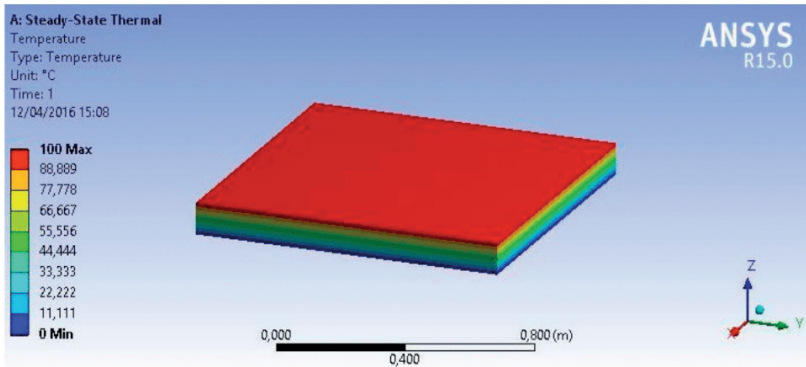


Figure 04: Mechanical results for the bi-anchored beam.

If there is only the displacement restriction at z, the maximum and minimum stresses found at the central points of the body are $\pm 9,4303E7$ Pa. Using Eqs. (33) and (34), the maximum stresses are $\pm 8,57E7$ Pa, differing only in 9.0 % from the software result. The graph of Fig. (05) presents the stress distribution in the abscissa axis (Pa), by the thickness in the ordinates axis (m). The 'calculated stress' curve represents the maximum tensions found analytically, 'Stress X' represents the stresses found by the program along the width and 'Stress Z' the stresses in the thickness direction, being free to rotate, the stresses in that axis are zero. However, the maximum stresses by both methods are very close.

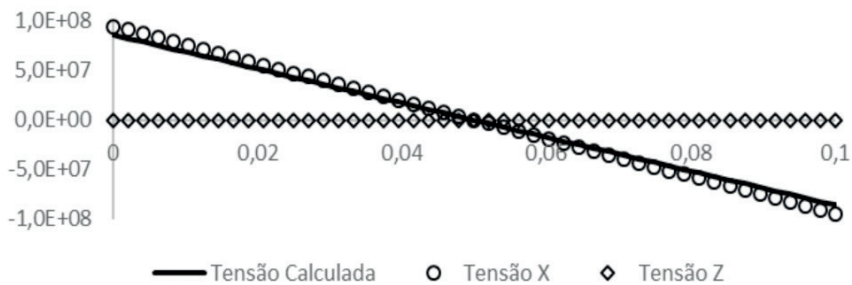


Figure05:Thermal stresses result comparison for different cases.

With this analysis, it can be affirmed that the analytical method and the MEF, applied through the ANSYS, can be used in the resolution of thermomechanical problems in engineering, and can later apply this methodology to more complex situations. Other similar analyzes can be observed in (COELHO et. all, 2016).

4 | CONCLUSIONS

With the presented results, it is possible to affirm that the thermal and thermomechanical analyzes can be done by means of different methods, like the analytical method, FDM and FEM. The comparisons between the simulations performed with the exposed alternatives were coincident, showing a good treatment of the data and a correct manipulation of the computational tools. It is also noted that the initial conditions and boundary properly applied are essential in order to reach the expected results. Although the cases presented are simple, they are essential if advances are to be achieved, as they are part of a needed preliminary study phase of validation that aims to arrive at solutions, with confidence in numerical simulations, of more complex problems.

REFERENCES

Becker, E., 1981. Finite elements. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall.

Çengel, Y. A. 2006. Heat and Mass Transfer: A Practical Approach, 3^a Ed., McGrawHill, Singapore.

Coelho, N. A.. Métodos Analíticos e Numéricos para o Estudo dos Efeitos Termomecânicos no Concreto Massa Orientados às Barragens de Gravidade. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília – UnB. Brasília: 2016.

Coelho, N. A.. Um Estudo Numérico do Efeito Térmico em Concreto Massa. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília – UnB. Brasília: 2012.

Coelho, N. A.; Silva, D. A.; Pedroso, L. J.; Efeito térmico provocado pelo calor de hidratação em barragem de gravidade construída em camadas. In: XXXVII Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering. Brasília: 2016b.

Corrêa, L.; Lima, G. A. B.; Ferreira, V. G. Solução Numérica de Equações Diferenciais Parciais via o Método das Diferenças Finitas. II Colóquio de Matemática do Centro Oeste. 2011.

Hoffman, J. D., 2001. Numerical methods for engineers and scientists, Marcel Dekker, Inc.

Incropera, F.P.; Dewitt, D.P. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, 3a Edição, LTC S. A., R. J. 1990.

SZILARD, R.. Theory and Analysis of Plates: Classical and Numerical Methods. John Wiley & Sons. New Jersey: 2004.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Absorção de água 22, 27, 29, 31, 32
Acessibilidade 193, 248, 249, 253, 254, 255, 256
Aço inoxidável AISI 304 124
Agroindústrias familiares 193, 197, 199, 201
Agronegócio 203, 205, 206, 207, 208, 210, 211, 212, 215, 216, 217
AHSS 137, 138, 139, 144, 146
Alimentos 19, 42, 53, 156, 165, 168, 193, 194, 195, 197, 198, 200, 201, 202, 203, 204, 206, 208
Alvenaria estrutural 225, 226, 227, 228, 229, 231, 232, 233
Amazônia 218, 219, 224
Análise de deformação 124
Aplicativo 252, 253, 257, 262, 263, 264, 268
Ataques químicos 137, 142, 143, 144, 146

B

Bacaba 148, 149
Baja 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 242, 245, 246, 247
Barragem 23, 92, 188, 189, 190, 191, 192
Biocombustível 177, 178
Bioenergia 10, 11, 149, 168
Biomassa 10, 11, 15, 16, 19, 21, 42, 45, 69
Biotecnologia 19, 186, 205, 206, 207, 209, 210, 211, 215, 216
Bloco ecológico 22, 26

C

Café 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 46, 278
Calibração 120, 122, 123
Caracterização 2, 24, 27, 28, 29, 34, 36, 37, 38, 78, 102, 104, 113, 115, 116, 123, 135, 137, 142, 143, 145, 146, 152, 153, 174, 185, 189, 227, 272, 298
Células solares 94, 96, 148, 149, 150, 151, 152, 153
Coleta seletiva 1, 2, 3, 4, 5, 6, 50, 54
Comportamento mecânico 124, 125, 126, 140
Conforto 26, 56, 59, 64, 77, 78, 257, 259, 264, 269, 274

Correlação digital de imagens 12, 124, 126, 127, 128, 132, 135

CSSC 148, 150, 151, 152, 153

D

Deficiência visual 248, 249, 250, 252, 254, 255

Diâmetro da cepa 218, 224

E

Eletrofiação 93, 94, 97, 98, 100

Energia renovável 10, 42

Engenharia 20, 21, 25, 41, 42, 44, 46, 54, 55, 80, 94, 95, 125, 146, 156, 175, 192, 224, 225, 232, 234, 235, 238, 240, 245, 246, 254, 269, 270, 271, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 298

Ensino superior 234, 235, 248, 249, 252, 254, 276, 281, 283

Enzimas ligninolíticas 166, 167, 168, 173

Estabilidade oxidativa 177, 181

Estacionamento 269, 270, 271, 272, 273, 274

Extrato natural 177

F

Fiscalização 218, 219, 223, 224, 225, 232

Fluxo de caixa 234, 236, 237, 243, 244, 246

Fonte de energia 8, 10, 11, 44, 149

Força 23, 98, 120, 121, 122, 123, 132, 278, 285, 286

Fungos 19, 156, 166, 167, 168, 169, 173, 180

G

Gestão 3, 23, 33, 34, 35, 40, 41, 42, 53, 192, 202, 203, 204, 208, 217, 227, 236, 243, 279, 298

Gestão de resíduos 41, 42

I

Irrigação 188, 189, 190, 192

L

Laboratórios de informática 56, 59, 60, 61, 62, 63

Largura de faixa 269

Lipases 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 164

M

Madeira 16, 22, 66, 67, 68, 69, 70, 78, 79, 166, 167, 175, 224
Manifestações patológicas 225, 227, 228, 232
Método das diferenças finitas 80, 92
Método dos elementos finitos 80
Microestrutura 124, 126, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 146
Mineração 22, 23, 24, 25, 32, 33
Miniônibus 257, 262, 263, 264
Mitigação ambiental 8
Mobilidade 102, 108, 110, 116, 117, 235, 248, 249, 253, 254, 257, 262, 264, 265, 267, 268, 270, 271, 274, 275
Mulheres 276, 277, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291

O

Óleo de baru 155, 165
Óxidos metálicos 102, 103, 104, 113, 117

P

Paratransit 257
Patauá 148
Patentes 205, 206, 207, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215
Placas cimentícias 66
Planejamento experimental 155, 158, 159, 160, 166, 169, 170, 171, 172
Plano de negócio 235, 236, 242, 243, 245, 247
Processamento 8, 9, 10, 13, 14, 20, 21, 25, 67, 68, 93, 97, 98, 102, 103, 104, 111, 117, 126, 127, 130, 140, 156, 195, 197, 206, 240, 292
Produção de Taninos 8

R

Rastreabilidade 120, 123
Resíduo 14, 16, 17, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 40, 47, 151, 152, 157, 177, 179, 180, 181, 183, 184, 185
Resistência à compressão 22, 27, 29, 31
Ruído 56, 57, 58, 59, 64, 65

S

Salas de aula 3, 56, 59, 60, 61, 62, 63, 288

Saneamento 41, 42, 54, 55, 278
Segurança alimentar 193, 197, 202, 203, 205, 209, 215
Semicondutores 95, 102, 104, 150
Sensores 94, 95, 98, 103
Shopping Center 34, 35, 36, 41
Sistema de medição 120, 121, 122, 123
Smart materials 93, 94, 96, 100
Soldagem MIG 124
Sustentabilidade 1, 2, 9, 11, 42, 66, 153, 216, 237, 265, 267, 271

T

Tecnologias 10, 16, 18, 64, 66, 205, 211, 214, 215, 216, 248, 255, 264, 278, 279
Temperatura 13, 18, 25, 52, 67, 69, 70, 71, 74, 75, 77, 80, 94, 95, 97, 102, 111, 112, 114, 115, 117, 128, 140, 141, 158, 159, 166, 168, 173, 174, 177, 178, 180, 220, 228, 232, 240
Tensões térmicas 80, 128
Termomecânicos 80, 92
Transistores 102, 104, 105, 108, 111, 116, 117
Transporte coletivo sob demanda 257, 258, 259, 262, 264, 266
Tratamento de efluente 166

V

Vegetação 188, 189, 190, 221
Veículos off-road 235, 236, 237, 238
Velocidade 69, 130, 166, 173, 240, 269, 270, 273, 274
Viabilidade econômica 234, 236, 245, 246

Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 