

# 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](http://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**

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>66</b>
<b>ANÁLISE TÉRMICA E ACÚSTICA DE PLACAS DE VEDAÇÃO EM COMPÓSITO CIMENTO-MADEIRA</b>	
Bruna de Oliveira Criado	
Fernando Sérgio Okimoto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5662005107</b>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>80</b>
<b>COMPARATIVE ANALYSIS OF A TRANSIENT HEAT FLOW AND THERMAL STRESSES BY ANALYTICAL AND NUMERICAL METHODS</b>	
Gisele Vilela Almeida	
Nailde de Amorim Coelho	
Nasser Samir Alkmim	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5662005108</b>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>93</b>
<b>PRODUÇÃO DE NANOFIBRAS POLIMÉRICAS ELETROFIADAS PARA MATERIAIS INTELIGENTES</b>	
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	
<b>DOI 10.22533/at.ed.5662005109</b>	
<b>CAPÍTULO 10</b> .....	<b>102</b>
<b>PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE TRANSISTORES DE FILME FINO DE ÓXIDOS METÁLICOS PROCESSADOS POR SOLUÇÃO</b>	
João Mendes	
João Paulo Braga	
Giovani Gozzi	
Lucas Fugikawa-Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.56620051010</b>	
<b>CAPÍTULO 11</b> .....	<b>120</b>
<b>SISTEMA DE MEDIÇÃO PARA CALIBRAÇÃO DE INSTRUMENTOS ATÉ 9 MN</b>	
Frank Omena de Moura	
Carlos Alberto Fabricio Junior	
<b>DOI 10.22533/at.ed.56620051011</b>	
<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>124</b>
<b>ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE JUNTAS SOLDADAS</b>	

## 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**

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

**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**

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE JUNTAS SOLDADAS APLICANDO A TÉCNICA DE CORRELAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS

*Data de aceite: 01/10/2020*

*Data de submissão: 04/09/2020*

### **Ycaro Jorge Maia da Costa**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/7005755859433625>

### **José Máspoli Ferreira Pereira**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/5568371891130645>

### **Rodrigo Nogueira de Codes**

Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Mossoró – Rio Grande do Norte  
<http://lattes.cnpq.br/1099550358065745>

**RESUMO:** O gradiente térmico de resfriamento em juntas soldadas promove a modificação da sua microestrutura, subdividindo-a em três regiões mecanicamente distintas: Metal de Solda (MS), Zona Afetada pelo Calor (ZAC) e Metal de Base (MB). A intensidade dos parâmetros de soldagem bem como do aporte térmico aplicado na soldagem influencia a taxa de resfriamento da junta na ZAC, região característica por apresentar aumento em ductilidade associado devido ao fenômeno de recristalização e crescimento de grãos. O presente trabalho utilizou a técnica de Correlação Digital de Imagens que através do registro progressivo de imagens durante ensaio de tração, compara diferentes estágios de deformação da superfície tratada do corpo de prova, identificando campos de deslocamento

e deformação e propriedades mecânicas de cada zona mencionada. Dentre os resultados, as ZAC's das juntas soldadas com Energia da Soldagem (ES) de 10,5 kJ/cm apresentaram aumento de ductilidade cerca de 61% superior ao do seu MB, enquanto que com ES de 9,9 kJ/cm esse aumento foi de 46,3%.

**PALAVRAS - CHAVE:** Correlação Digital de Imagens; Aço inoxidável AISI 304; Soldagem MIG; Comportamento mecânico; Análise de deformação.

### MECHANICAL BEHAVIOR ANALYSIS OF WELDED JOINTS APPLYING THE DIGITAL IMAGE CORRELATION TECHNIQUE

**ABSTRACT:** The thermal gradient of welded joints promotes the modification of its microstructure, subdividing it into three mechanically distinct regions: Weld Metal (MS), Heat Affected Zone (ZAC) and Base Metal (MB). The intensity of the welding parameters as well as the thermal input applied in welding influences the joint cooling rate in the ZAC, a characteristic region due to the increase in associated ductility due to the phenomenon of recrystallization and grain growth. The present work used the Digital Image Correlation technique, which, through the progressive recording of images during a tensile test, compares different stages of deformation of the treated surface of the specimen, identifying displacement and deformation fields, mechanical properties and evolution of the deformation of each area mentioned. Among the results, ZAC welded joints with Welding Energy (ES) of 10.5 kJ/cm showed a ductility increase about 61%

higher than its MB, while with ES of 9.9 kJ/cm this increase was 46.3%.

**KEYWORDS:** Digital Image Correlation; Stainless steel AISI 304; GMAW welding; Mechanical behavior; Strain analysis.

## 1 | INTRODUÇÃO

O avanço na engenharia promoveu a necessidade do projeto de estruturas dimensionadas de forma otimizada. Esse contexto fez com que houvesse a busca por alternativas de monitoramento do comportamento mecânico de materiais.

Tradicionalmente o ensaio de tração destaca-se por fornecer a maior quantidade de informações sobre o comportamento mecânico dos metais em comparação com outros ensaios mecânicos. Entretanto, este avalia o comportamento mecânico do material de forma global. O projeto de estruturas metálicas pode envolver vários processos de fabricação, dentre eles: soldagem, usinagem, tratamentos térmicos, químicos, termoquímicos e endurecimento por deformação decorrentes da construção e montagem.

Estes processos podem induzir a modificação deste comportamento mecânico global num material. Assim a previsão do desempenho da estrutura através do ensaio mencionado e/ou de outros ensaios mecânicos se torna mais difícil, pois certas regiões da estrutura podem concentrar tensões, ter propriedades mecânicas do material modificadas de forma pontual em decorrência de transformações microestruturais, e em virtude disso, apresentarem campos de deformação não homogêneos.

A análise do comportamento mecânico em muitos casos desse tipo não é possível, devido a restrições geométricas ou se torna caro utilizar vários extensômetros (strain gauges).

Estas dificuldades existem quando se estuda o comportamento mecânico de juntas soldadas. Segundo Galvis e Hormoza (2011) e Kumar e Shahi (2011) devido ao fato de a dissipação de calor neste processo acontecer principalmente por condução a partir da região onde ocorreu a fusão do metal consumível para o restante do material da junta soldada, são gerados gradientes térmicos na união. Durante o resfriamento esses gradientes provocam um tratamento termomecânico violento que inclusive causa deformações induzidas no material, segundo Chen et al. (2011) e conseqüentemente acarretam gradientes microestruturais e mecânicos.

Existem três regiões microestrutural e mecanicamente distintas numa junta soldada: metal de base (MB), que é a região que o calor não é suficiente para gerar modificações em relação às condições originais; metal de solda (MS), que é a mistura solidificada de metal de adição e metal de base fundidos durante a soldagem e a zona afetada pelo calor (ZAC) que se divide em duas porções, ambas

sofrem recristalização, uma pequena região de grãos refinados e outra maior com uma microestrutura de grãos grosseiros e alongados, o que faz com que haja um incremento em ductilidade e redução em resistência (Tolpelt et al, 2011, Zhu et al, 2015).

Como relatado por Saranath et al. (2014), a presença de três regiões mecanicamente distintas numa junta soldada faz com que o comportamento mecânico de deformação seja anisotrópico. Deste modo, faz-se necessária a aplicação de uma técnica que seja capaz de detectar e mostrar este gradiente de deformação durante o ensaio de tração, evitando assim a ocorrência de falhas em estruturas soldadas.

O conhecimento do comportamento de deformação de juntas soldadas pode evitar o superdimensionamento de estruturas, com a redução de coeficientes de segurança, pois se fornece mais confiabilidade ao projeto. Adicionalmente, há a redução do volume de material utilizado e os custos de fabricação.

A técnica de Correlação Digital de Imagens (CDI) destaca-se pela investigação de campos de deslocamento e de deformação. A técnica se baseia em imagens para identificar deslocamentos e através destes calcular deformações, por meio de uma comparação entre estados não-deformados e deformados. O presente trabalho se deteve em mostrar a capacidade da técnica de Correlação Digital de Imagens em determinar o comportamento de campos de deformações mecanicamente isotrópicos e anisotrópicos de corpos de prova soldado e não soldado, através do ensaio de tração.

A técnica de CDI, foi desenvolvida inicialmente, por pesquisadores da Universidade da Carolina do Sul, nos Estados Unidos, durante os anos 80. Ela foi inicialmente proposta à comunidade científica como método para análise gráfica da deformação de materiais, nos trabalhos de: Peters e Ranson (1982) e Sutton et al. (1986), atualmente ela é utilizada amplamente em pesquisas que estudam o comportamento mecânico de deformações dos mais variados materiais, sob diversas condições, com análise em duas e três dimensões.

O procedimento experimental da técnica CDI consiste de três etapas básicas: limpeza da amostra para a aplicação de uma textura em escala de cinza adquirida através de uma pintura da superfície da amostra, registro das imagens com uma frequência de aquisição pré-determinada durante a deformação da amostra e processamento das imagens em um programa CDI para adquirir os dados dos campos de deslocamento e deformação.

A textura em escala de cinza na superfície da amostra é conseguida através da aplicação de uma nuvem de tinta spray branca sobre uma superfície homogênea preta (Nakata e Tanigawa, 2012). A nuvem de tinta branca faz com que haja uma distribuição aleatória das gotículas brancas sobre a superfície preta formando a

textura em escala de cinza como mostrado na figura 1-A.



Figura 1-A – Aplicação da textura em escala de cinza

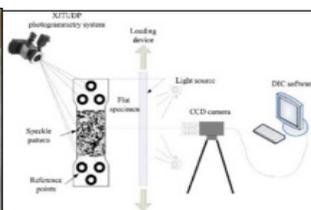


Figura 1-B – Aparato experimental para ensaio de tração aplicando a técnica CDI (Tang et al, 2012)

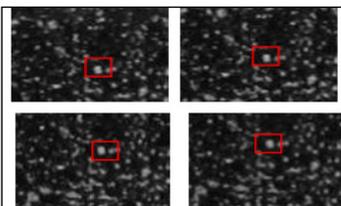


Figura 1-C – Deslocamento de um ponto de controle e sua área de interesse (5x5 entre imagens).

Um esquema típico de da aplicação da técnica Correlação Digital de Imagens é mostrado na figura 1-B (Tang et al, 2012). Durante o Processamento Digital de Imagem (PDI), o programa CDI converte as informações visuais contidas na textura em informações descritivas na forma de um modelo matemático. A textura em escala de cinza de cada imagem funciona como uma função  $f(x,y)$ , onde o domínio da função é dado pelas coordenadas  $(x,y)$  da imagem digital em pixels e a imagem  $f$  representa a luminosidade de cada posição. O conjunto de valores em escala monocromática constitui uma matriz de luminosidade da imagem.

Os deslocamentos são calculados através da comparação entre as matrizes luminosidade de uma imagem de referência e imagens. Cada valor da matriz luminosidade da imagem de referência representa um elemento de área (em vermelho na figura 1-C que é reconhecido pelo programa CDI através de um ponto de controle, fazendo com que o elemento de área seja identificado mesmo após ocorrer o deslocamento em uma imagem deformada (Staborska et al, 2012)

A figura 1-C mostra a sequência de deslocamento de um ponto de controle, e a movimentação de sua área de interesse conforme ocorre a deformação do material. Para o programa a função que corresponde ao elemento da matriz de luminosidade da imagem de referência,  $I_0(x,y)$ , que será correlacionada com a da imagem deformada,  $I_n(x',y')$ , satisfaz a relação:  $I_0(x,y) = I_n(x+un, y+vn)$ . Onde  $un$  e  $vn$  representam os deslocamentos na abcissa e ordenada respectivamente. Os deslocamentos e são determinados pelo coeficiente de correlação cruzada:

$$C = \frac{\sum_{un,vn} I_0(x,y) \cdot I_n(x+un, y+vn)}{\sqrt{\sum_{un,vn} I_0(x,y)^2 \cdot \sum_{un,vn} I_n(x+un, y+vn)^2}}$$

O coeficiente de correlação cruzada é adotado quando seu valor em função

dos deslocamentos é máximo, assim é função dos valores de deslocamentos e de seus gradientes.

Hild e Roux (2006) desenvolveram um programa (Correli Q4®) com algoritmos de Correlação Digital de Imagens implementados na plataforma MATLAB®. Seus trabalhos constataram seu potencial para mensurar campos de deslocamento e deformação, bem como determinar propriedades mecânicas dos materiais. Além disso, o programa mostrou a capacidade de determinar deslocamentos em escala de sub-pixels, isto comprova a confiabilidade dos resultados de ensaios obtidos através do uso do Correli Q4.

Além de apresentar os campos de deslocamento e deformação em interface gráfica, o Correli Q4 tem como grande vantagem em relação a outros programas CDI, o recurso de análise de textura antes de iniciar o ensaio. A técnica CDI foi utilizada para mensurar tensões residuais e evolução de deformação durante o procedimento de soldagem TIG/GTAW como mostrado no estudo de Strycker et al. (2011). Os autores conseguiram provar a eficácia deste experimento, comparando os resultados da evolução do campo de deformação através da técnica CDI com os de extensômetros elétricos.

Hu et al. (2013) utilizaram a técnica de Correlação Digital de Imagens em três dimensões para identificar o comportamento de deformação induzida na soldagem de chapas de aço inoxidável, durante a soldagem, ao fim do processo e durante o resfriamento. Os autores relataram que a técnica conseguiu através de sua interface representar de forma ilustrativa os campos de deformação decorrentes dos gradientes térmicos do processo de soldagem.

Jin et al. (2014) utilizaram a técnica de CDI para análise de deformações devido às tensões térmicas referentes a um conjunto metálico composto por uma placa circular de alumínio e um anel de titânio que com o aquecimento entravam em interferência gerando o campo de deformações.

Codes et al. (2011) utilizaram o Correli Q4 para identificar a propagação de bandas oriundas do efeito Potervin-Le Chatelier, em amostras de AA 5182, durante o ensaio de tração.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Foram fabricados corpos de prova em duas condições de Energia de Soldagem (ES), 9,9 kJ/cm e 10,5 kJ/cm, de acordo com a norma ISO 6892, para ensaio de tração à temperatura ambiente. As dimensões foram de 25,4mm da largura, 5mm de espessura e 200 mm de comprimento. O material foi usinado a partir de barras chatas de aço inoxidável AISI 304, que segundo a certificação do fabricante possui composição química conforme a tabela 1.

Elemento	C	Si	Mn	P	Cr	Mo	Ni	V	Al	Cu	Ti
%p.	0,04	0,4	1,28	0,3	18,2	0,32	7,63	0,08	0,003	0,55	0,004

Tabela 1 - Composição química do aço inoxidável AISI 304

Para confecção das juntas soldadas os corpos de prova foram cortados longitudinalmente no centro de seu comprimento através de um chanfro em “I” para posterior união em ambos os lados por soldagem MIG/GMAW. A soldagem foi realizada por um robô de deslocamento de tocha (Tartilope V1 figura 2-A). A máquina de solda utilizada foi de modelo ESAB LAI 407 com alimentador de arame acoplado (figura 2-B). A aquisição dos parâmetros de soldagem foi feita por um sistema Aq. Dados 7.02.



Figura 2-A – Tartilope V1



Figura 2-B –  
ESAB LAI 407



Figura 2-C – Aparato  
de Ensaio

O arame consumível utilizado possui especificação AWS ER308LSi. Usou-se o argônio puro como gás de proteção. A soldagem procedeu-se com abertura e fechamento de arco em chapas adjacentes de mesma espessura e material do corpo de prova, como mostrado na figura 3-A, impedindo os fenômenos de variação de parâmetros durante esses processos, fazendo com que os cordões de solda tenham a melhor continuidade possível.



Figura 3-A – Chapas  
adjacentes ao corpo de  
prova



Figura 3-B – Corpo de prova de aço  
inoxidável AISI 304 soldado.

O metal adjacente foi posteriormente retirado por serragem. Condição final do corpo de prova é ilustrada na figura 3-B. Foi aplicada a textura em escala de cinza nos corpos de prova (figura 1-A). A aquisição das imagens foi realizada

remotamente por uma câmera Cannon EOS 60 D através de um computador, com uma frequência de aquisição de uma imagem a cada 5 segundos.

Os ensaios foram realizados até a ruptura numa máquina universal de ensaios EMIC DL 10000 com capacidade máxima de 100 kN. Os comprimentos úteis de todos os corpos de prova foram de 115 mm. Todos os ensaios foram realizados utilizando uma velocidade de deformação de  $7,5 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ . O aparato experimental utilizado no ensaio é mostrado na figura 2-C Após os ensaios as imagens foram processadas e analisadas pelo software CDI Correli Q4.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

As rupturas das juntas ocorreram para ambas energias de soldagem na zona afetada pelo calor (ZAC), confirmando a teoria abordada por Lippold e Kotecki (2005), que a região se comporta como um concentrador de tensão devido ao crescimento de seus grãos decorrente dos gradientes de aquecimento e resfriamento, resultado na consequente redução em sua resistência mecânica, deste modo a ruptura nesta zona é comum.

A Figura 4 apresenta os campos de deformação vertical após o processamento das imagens do ensaio de tração e análise utilizando Correli Q4, a intensidade da deformação é representada pela escala de cores da menor (vermelho) para a maior (roxo), cada campo de deformação possui seus níveis de deformação parametrizados a escala de cores.

Observa-se que enquanto o corpo de prova da figura 4-3 apresenta um comportamento de deformação homogêneo, os CP's das figuras 4-1 e 4-2 indicam a presença de gradientes de deformação nas zonas características de uma junta soldada, MB, ZAC e MS.

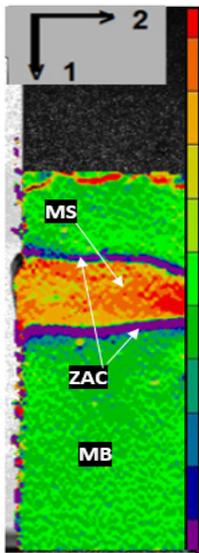


Figura 4-A – Campo de deformação vertical (1) – Corpo de prova 10,5 kJ/cm (679 s)

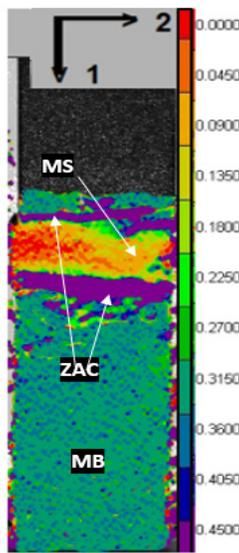


Figura 4B – Campo de deformação vertical (1) – Corpo de prova 9,9 kJ/cm (877 s)

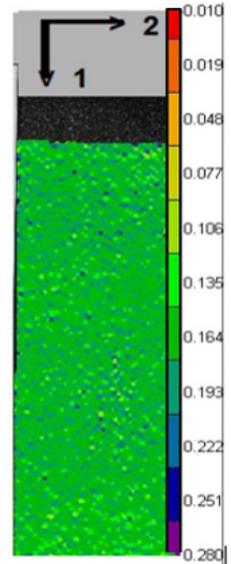


Figura 4B – Campo de deformação vertical (1) – Corpo de prova sem solda (1095 s)

Notavelmente a Zona Afetada pelo Calor apresentou intensidade de deformação superior às outras regiões como de fato era de se esperar, pois essa região sofre aumento considerável de ductilidade devido ao aporte térmico gerado pela soldagem e posterior resfriamento lento, funcionando como um tratamento térmico violento e localizado.

No corpo de prova da figura 4-1 (10,5 kJ/cm), o metal de solda foi preenchido em variações da cor laranja, o que de acordo com a escala de cores representa uma deformação de aproximadamente 0,08 mm/mm, o alongamento máximo da curva MS é de 0,0831. A região preenchida em variações de verde, onde está o metal de base, apresenta uma deformação entre 0,2 e 0,24, de acordo com a curva MB o alongamento máximo é de 24,4%. A deformação mais considerável foi apresentada adjacente ao cordão de solda, na ZAC, de acordo com a escala de cores, o valor foi de aproximadamente 0,4 mm/mm.

No corpo de prova da figura 4-2 (9,9 kJ/cm), o valor da deformação na ZAC é de aproximadamente 0,45 mm/mm, o MB é representado na cor verde, este apresenta uma deformação percentual ao fim do ensaio de 31,5%, segundo a escala de cores. No MS calculou-se um alongamento máximo de 10%, ou 0,1 mm/mm.

Utilizando o comando *virtual gauge* no Correli Q4, é possível calcular uma média das deformações localizadas posicionando um elemento de área na região

de interesse, para verificar o comportamento e extrair os dados de deformação do ensaio adotou-se três regiões de interesse de formato retangular posicionados de maneira centralizada, um em cada região da solda, um no MS e outro no MB, ambos de 3x3 mm e um na ZAC de 5X1 mm.

Através dos dados de deformação obtidos pela Correlação Digital de Imagens e dos dados de força registrados pela célula de carga do equipamento de ensaios e das secções transversais de cada região, tornou-se possível plotar as curvas tensão-deformação das zonas estudadas e conseqüentemente suas propriedades mecânicas, conforme a figura 5.

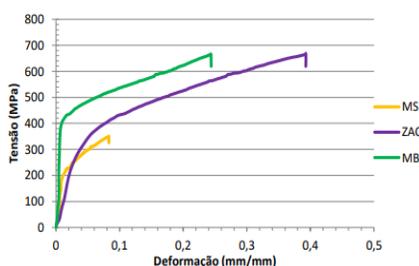


Figura 5-1 - Curvas tensão-deformação das regiões da junta soldada com ES de 10,5 kJ/cm

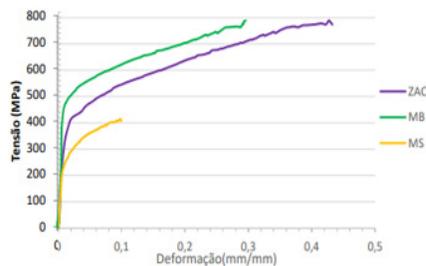


Figura 5-2 - Curvas tensão-deformação das regiões da junta soldada com ES de 9,9 kJ/cm

Observa-se de acordo com as curvas da figura 5 que o corpo de prova soldado com a Energia de Soldagem de 9,9 kJ/cm de tensão em relação a Energia de Soldagem de 10,5 kJ/cm, o que muito provavelmente se deve a um menor aporte térmico aplicado e conseqüentemente redução de resistência mecânica em menor intensidade, como a condição de 10,5 kJ/cm.

As tabelas a seguir apresentam as propriedades obtidas através das curvas tensão-deformação e dos dados de deformação transversal (direção 2).

Vale lembrar que o material de base muito provavelmente possui resistência mecânica maior do que o último ponto da curva, mas que devido a ruptura ter acontecido na ZAC, não se registrou tensões maiores.

Notou-se também em ambos casos que a ZAC se deformou em maiores proporções que o MB devido ao aumento de ductilidade anteriormente comentado, 61% a mais em relação ao MB para 10,5 kJ/cm e 46,3% a mais para 9,9 kJ/cm, cabe destacar que esse aumento em menores proporções para a Energia de Soldagem (ES) menor deve-se ao menor aporte térmico que possibilitou o resfriamento a uma taxa mais acelerada.

Propriedade Zonas da junta	Tensão de Escoamento		Alongamento	
	10,5 kJ/cm	9,9 kJ/cm	10,5 kJ/cm	9,9 kJ/cm
MB	420 MPa	490 MPa	24,4%	29,6%
ZAC	280 MPa	360 MPa	39,3%	43,3%
MS	200 MPa	490 MPa	2,3%	7,2%

Tabela 2 – Tensões de escoamento e alongamento das regiões das juntas soldadas

Em relação a tensão de escoamento, a ZAC apresentou valores menores em relação ao seu MB em ambos casos, analisando relativamente a redução para 10,5 kJ/cm foi de 33,3% e de 26,5% para 9,9 kJ/cm, a perda de resistência proporcionalmente ao MB foi menor no caso da ES menor se deve ao menor aporte térmico aplicado e conseqüente resfriamento mais rápido que a outra condição testada.

Propriedade Zonas da junta	Módulo de Resiliência		Módulo de Tenacidade	
	10,5 kJ/cm	9,9 kJ/cm	10,5 kJ/cm	9,9 kJ/cm
MB	2,3 kJ/cm	7,2 kJ/cm	132,8 kJ/cm	194,5 kJ/cm
ZAC	1,8 kJ/cm	3,3 kJ/cm	194,1 kJ/cm	270,8 kJ/cm
MS	0,5 kJ/cm	1,2 kJ/cm	21,3 kJ/cm	33,4 kJ/cm

Tabela 3 – Módulos de Resiliência e de Tenacidade das regiões das juntas soldadas

No caso do módulo de resiliência, observamos que para a ZAC, os valores da ES de 9,9 kJ/cm foram maiores que os de 10,5 kJ/cm, o que quer dizer que conforme foi acrescido o aporte térmico, uma maior quantidade de energia de deformação foi necessária para tensioná-lo na fase elástica, o que pode ser justificado pelo comportamento de aumento de ductilidade e de tensão de escoamento relatado na obtenção das propriedades anteriores.

O fato de o módulo de tenacidade da ZAC com 9,9 kJ/cm ter sido 39,5% maior do que de os 10,5 kJ/cm, ocorreu devido esta propriedade ser obtida de uma relação dos comportamentos da tensão e deformação, portanto, por ter usado energia de soldagem menor, o corpo de prova de 9,9 kJ/cm apresenta maior rigidez a deformação, necessitando, assim aplicar mais energia de deformação que os corpos de prova de 10,5 kJ/cm, para obter a mesma magnitude. Ou seja, o corpo de prova de 9,9 kJ/cm necessita de uma maior área abaixo da curva que o de 10,5 kJ/cm, para obter o mesmo valor de deformação.

Outro resultado observado, foi que ao comparar a variação dessa propriedade na ZAC em relação ao respectivo metal de base, calculou-se que em 10,5 kJ/cm a

tenacidade aumentou 46% em relação ao metal de base, enquanto que com 9,9 kJ/cm apenas 39%, ou seja, no caso da condição de menor aporte térmico na soldagem, essa propriedade variou menos, analisando relativamente, portanto a junta de 9,9 kJ/cm é mecanicamente mais homogênea que a de 10,5 kJ/cm.

Propriedade Zonas da junta	Módulo de Elasticidade		Coeficiente de Poisson	
	10,5 kJ/cm	9,9 kJ/cm	10,5 kJ/cm	9,9 kJ/cm
MB	115 GPa	130 GPa	0,36	0,36
ZAC	11 GPa	22 GPa	0,16	0,23
MS	30 GPa	31 GPa	-	-

Tabela 4 – Módulos de Elasticidade e Coeficientes de Poisson

Analisando comparativamente os dados apresentados acima, observou-se que para os corpos de prova de 10,5 kJ/cm houve uma redução de 90% do módulo de elasticidade da ZAC em relação ao MB, no caso de 9,9 kJ/cm essa redução foi de 83%, isso mostra que conforme o aumento verificado na energia de soldagem, mais o metal do corpo de prova sofreu uma maior redução na rigidez da ZAC em relação ao seu metal de base, confirmando o apresentado anteriormente.

Outro resultado de relevância que foi observado foi o devido à grande redução na propriedade do módulo de elasticidade para ambas condições em estudo, a ZAC tende a atingir o limite elástico bem antes das outras regiões da junta, pois deforma em maior intensidade em resposta a aplicação da tensão na junta por completo, devido a sua baixa rigidez relativa. Isto confirma que a ZAC dos aços inoxidáveis é um concentrador de tensão na junta, sendo o local onde o corpo de prova tende a romper nos ensaios de tração.

Observou-se com base nos dados da tabela 4 que em ambos os casos o Coeficiente de Poisson apresentou redução em relação ao metal de base, no caso de 10,5 kJ/cm em torno de 55%, enquanto para 9,9 kJ/cm essa redução foi em torno de 36%. Isso quer dizer que conforme foi maior o aporte térmico, a ZAC de 10,5 kJ/cm sofreu maior alongamento relativo na direção longitudinal, comparando com a condição de menor intensidade de calor, para deformações transversais iguais. Assim a seção na condição de 10,5 kJ/cm a seção foi mais alongada que de 9,9 kJ/cm se compararmos instantes do ensaio onde a deformação transversal seja igual.

Vale lembrar que não foram apresentados na tabela acima os valores para o metal de solda, pois nas condições de ensaio esta região apresentava reforço de seção transversal maior que o restante do corpo de prova, desse modo a proporção de deformação nesta região foi influenciada.

## 4 | CONCLUSÕES

A constatação dos resultados obtidos pela técnica de Correlação Digital de Imagens mostrou-se como diferencial para caracterização da influência da variação da energia de soldagem. Inicialmente pela identificação e análise do campo de deformação, pela valoração e comparação entre suas propriedades mecânicas da junta em todas suas regiões (Metal de Base, Zona Afetada pelo Calor e Metal de Solda).

As modificações microestruturais resultantes dos gradientes de resfriamento ocorridos na ZAC são responsáveis pela alteração no comportamento de deformação da junta que foi eficazmente evidenciado pelo gradiente mecânico observado nos campos de deformação apresentados.

Como foi observado, a energia de soldagem foi crucial na variabilidade das propriedades mecânicas, inclusive para a resistência ao escoamento, entre as amostras de 10,5 kJ/cm e 9,9 kJ/cm, principalmente na zona mais sensível da junta, onde foram obtidos limites de escoamento 280 e 360 MPa, de forma respectiva para cada energia, o que demonstra que juntas fabricadas com energia de soldagem mais intensa sofrem redução considerável de resistência mecânica.

Notou-se também uma tendência de deformação da ZAC em maiores proporções comparando com seu MB, pois o aumento de ductilidade foi de 61% a para 10,5 kJ/cm e 46,3% para 9,9 kJ/cm em relação ao respectivo MB, cabe destacar que esse aumento em menores proporções para a Energia de Soldagem (ES) menor deve-se ao menor aporte térmico que possibilitou o resfriamento a uma taxa mais acelerada.

Os resultados também mostraram que a condição de soldagem com menor aporte térmico possibilita uma menor perda de rigidez do metal em decorrência do processo de fabricação, o que remete a necessidade de maior esforço mecânico para gerar deformações tanto na fase elástica como na plástica.

Finalmente, observou-se que o aporte térmico influencia ainda na proporção de deformação transversal-longitudinal, em que, a ZAC de 10,5 kJ/cm sofreu maior alongamento relativo na direção longitudinal que na condição de 9,9 kJ/cm.

## REFERÊNCIAS

CHEN, B.Q., GARBATOV, Y. e GUEDES SOARES, C, **Measurement of weld induced deformations in 3D structures based on photogrammetry technique**, Journal of Ship Production and Design, Vol. 27, 2, pp. 51-62. 2011.

CODES, R.N. et al. **Spatial and Temporal Characteristics of Propagating Deformation Bands in AA5182 Alloy at Room Temperature**. METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS, Cachan, v41, n6, p44-58, 2011

GALVIS E, A. R.; HORMAZA, W. **Characterization of failure modes for different welding processes of AISI/SAE 304 stainless steels.** ENGINEERING FAILURE ANALYSIS, v.18, n. 7, p.1791-1799,2011.

HILD, F. ROUX, S. **Digital Image Correlation: from Displacement Measurement to Identification of Elastic Properties - a Review.** STRAIN, 42:69-80. Cachan, 2006.

HU, Hao et al. **Image correlation method for full-field deformation measurements during metal sheet welding processes.**OPTIK, Shaanxi, p.5193-5198, 2013.

JIN, T.I.; HA, N.s.; GOO, N.s.. **A study of the thermal buckling behavior of a circular aluminum plate using the digital image correlation technique and finite element analysis.** THIN-WALLED STRUCTURES, v. 77, p.187-197, 2014.

KUMAR, S.; SHAHI, A.s.. **Effect of heat input on the microstructure and mechanical properties of gas tungsten arc welded AISI 304 stainless steel joints.** MATERIALS & DESIGN, v. 32, n. 6, p.3617-3623, 2011.

LIPPOLD, J. C.; KOTECKI, D. J. **Welding metallurgy and weldability of stainless steels.** Hoboken: Wiley-interscience, 2005.

NAKATA, Toshiya; TANIGAWA, Hiroyasu. **Evaluation of local deformation behavior accompanying fatigue damage in F82H welded joint specimens by using digital image correlation.** FUSION ENGINEERING AND DESIGN, Rokkasho, v. 87, n. 6, p.589- 593,2012.

PETERS, W.H., RANSON, W.F. **Digital imaging techniques in experimental stress analysis.** OPTICAL ENGINEERING, 432-437, 1982.

SARANATH, K.M.; SHARMA, Abhay, RAMJI, M. **Zone wise local characterization of welds using digital image correlation technique.** OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING, Hyderabad, v63 n4, p30-42. 2014.

STAMBORSKÁ, M. et al. **Identification of Stress Fields from the Strain Fields in Isotropic Materials.** PROCEDIA ENGINEERING, v48, p665-672, 2012.

STRYCKER, M. et al. **Measuring Welding Deformations with Digital Image Correlation Technique.** WELDING JOURNAL,Ghent, v90,n7, p.107-112, 2011.

SUTTON, M.A., CHENG, M., PETERS, W.H., CHAO, Y.J., MCNEILL, S.R. **Application of an optimized digital image correlation method to planar deformation analysis.** IMAGE VISION COMPUTING, 143-150, 1986.

TANG Z-Z., et al, **Optical engineering.** 51, 2012.

TOLEPHIH, M. H et. Al., Z.. **Comparative Study of the Mechanical Properties of (FS) and MIG Welded Joint in (AA7020-T6) Aluminum Alloy.**AL-KHWARIZMI ENGINEERING JOURNAL, Baghdad, v. 7, n. 2, p.22-35,2011.

ZHU, Z.y. et al. **Effect of post weld heat treatment on the microstructure and corrosion behavior of AA2219 aluminum alloy joints welded by variable polarity TIG welding.** MATERIALS & DESIGN, v65, p1075-1082, 2015.

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

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

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

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

# Resultados das Pesquisas e Inovações na Área das Engenharias 2

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

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

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

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