

---

# *A visão sistêmica e integrada das **engenharias** e sua **integração com a sociedade***

# 2

*Carlos Augusto Zilli  
(Organizador)*



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

---

# *A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a sociedade*

# 2

*Carlos Augusto Zilli  
(Organizador)*



**Atena**  
Editora  
Ano 2021

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes editoriais**

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant'Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso  
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí  
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra  
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto 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 da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

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

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

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

#### **Linguística, Letras e Artes**

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

A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a sociedade 2

**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Gabriel Motomu Teshima  
**Revisão:** Os autores  
**Organizador:** Carlos Augusto Zilli.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

V822 A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a sociedade 2 / Organizador Carlos Augusto Zilli. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-399-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.993211308>

1. Engenharia. I. Zilli, Carlos Augusto (Organizador). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

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

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

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

## APRESENTAÇÃO

Esta obra, intitulada “A Visão Sistêmica e Integrada das Engenharias e sua Integração com a Sociedade”, em seu segundo volume, apresenta 22 capítulos que abordam pesquisas relevantes que fazem emergir esta visão completa e abrangente típica das engenharias, revelando de que forma ela pode se integrar à sociedade para solucionar os desafios que surgem mundo afora, trazendo pesquisas relacionados à fluxo de potência, prevenção de ansiedade, reconstrução anatômica, modelagem energética, otimização de vigas mistas, composição de séries dodecafônicas, ruídos, entre outras.

Desta forma, esta obra se mostra potencialmente disponível para contribuir com discussões e análises aprofundadas acerca de assuntos atuais e relevantes, servindo como base referencial para futuras investigações relacionadas às engenharias em suas mais diversas instâncias.

Deixo, aos autores dos capítulos, um agradecimento especial, e aos futuros leitores, anseio que esta obra sirva como fonte inspiradora e reflexiva.

Esta obra é indicada para os mais diversos leitores, tendo em vista que foi produzida por meio de linguagem fluída e abordagem prática, o que favorece a compreensão dos conceitos apresentados pelos mais diversos públicos, sendo indicada, em especial, aos amantes da área de engenharia.

Carlos Augusto Zilli

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **ANÁLISE COMPARATIVA DA SATISFAÇÃO ENTRE DISCENTES E EGRESSOS DE ENGENHARIA: UM ESTUDO DE CASO**

Cristiano Geraldo Teixeira Silva

Eduardo Georges Mesquita

Maria Giselle Marques Bahia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113081>

### **CAPÍTULO 2..... 13**


#### **COMMODITIES AMBIENTAIS E A IV REVOLUÇÃO INDUSTRIAL - O POTENCIAL BRASILEIRO DE INOVAÇÃO SUSTENTÁVEL**

Diego da Silva Pereira

Zulmara Virgínia de Carvalho

Maria Eduarda Medeiros Monteiro


Heloysa Helena Nunes de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113082>

### **CAPÍTULO 3..... 27**

#### **ESTUDO DA INTEGRAÇÃO DE SENSORES AOS TÊXTEIS ESPORTIVOS**

Larissa Stephanie de Souza Malago

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113083>

### **CAPÍTULO 4..... 37**

#### **COMPARAÇÃO DE MÉTODOS PARA SUPRESSÃO DE RUÍDOS EM SINAL DE VOZ UTILIZANDO TRANSFORMADA WAVELET**

Gustavo dos Santos Cardoso

Gustavo Peglow Kuhn

Samuel dos Santos Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113084>


### **CAPÍTULO 5..... 52**

#### **RECONSTRUÇÃO ANATÔMICA BASEADA EM IMAGENS, MAPEAMENTO DE DENSIDADES E ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS DE UM FÊMUR COM FRATURA ATÍPICA**

Miguel Tobias Bahia

Emílio Graciliano Ferreira Mercuri

Mildred Ballin Hecke

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113085>

### **CAPÍTULO 6..... 68**


#### **SAFE WHEELCHAIR**

Luís Eduardo Lima da Costa

Marcia Ferreira Cristaldo

Sóstenes Renan de Jesus Carvalho Santos

Lucas Hermann Negri


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113086>

**CAPÍTULO 7..... 78**

MODELACIÓN ENERGÉTICA, UNA HERRAMIENTA ANALÍTICA, GRÁFICA Y ACTUAL PARA EL DISEÑO DE EDIFICIOS EFICIENTES ENERGÉTICAMENTE

Agustín Torres Rodríguez

David Morillón Gálvez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113087>


**CAPÍTULO 8..... 92**

NUMERICAL ANALYSIS OF BLOCKAGE EFFECT ON AN INNOVATIVE VERTICAL TURBINE (VAACT)

Rodrigo Batista Soares

Antonio Carlos Fernandes

Joel Sena Sales Junior


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113088>

**CAPÍTULO 9..... 108**

APLICAÇÃO DE HEURÍSTICAS E METAHEURÍSTICAS NA COMPOSIÇÃO DE SÉRIES DODECAFÔNICAS

Déborah Baptista Pilato

Paulo Henrique Siqueira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.9932113089>


**CAPÍTULO 10..... 119**

A MODELAGEM DIGITAL COMO AUXÍLIO DA PERCEPÇÃO DO OBJETO ARQUITETÔNICO EM ENSINO DE PROJETO

Luis Gustavo de Souza Xavier

Pedro Miguel Gomes Januário

Janine Fonseca Matos Xavier

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130810>

**CAPÍTULO 11..... 132**

MAPEAMENTO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS APLICADAS AO ENSINO DA ENGENHARIA ELÉTRICA COM ÊNFASE EM ELETROTÉCNICA

Wellington Alex dos Santos Fonseca

Fabiola Graziela Noronha Barros

Dariele da Costa Sousa


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130811>






**CAPÍTULO 12..... 144**


OTIMIZAÇÃO DE VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

Franz Augenthaler Avelino Coelho

João Batista Marques de Sousa Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130812>

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>161</b>
PROTÓTIPO: BRACELETE DETECTOR DE OBSTÁCULOS PARA DEFICIENTES VISUAIS Eloiziane Barbosa Pessoa José Augusto Albuquerque Rabelo Luiz Felipe de Souza Jimenez  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130813">https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130813</a>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>177</b>
THE NUMBER OF STORMS MODELED AS A POISSON RANDOM VARIABLE AT NORTHEAST COAST OF SOUTH AMERICA Lazaro Nonato Vasconcellos de Andrade  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130814">https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130814</a>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>190</b>
APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE SOMA DE CORRENTES PARA O CÁLCULO DO FLUXO DE POTÊNCIA CA Evandro José dos Santos Carlos Roberto Mendonça da Rocha  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130815">https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130815</a>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>196</b>
CARTILHA INFORMATIVA COMO FERRAMENTA DE PREVENÇÃO DA ANSIENIDADE INFANTIL Bruna Meneses da Silva Araújo Helton Camilo Teixeira Amanda Cris Prestes das Neves Maia Joana D'arc Araújo de Souza Rolim Dyovana Raissa de Souza Barros  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130816">https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130816</a>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>206</b>
A APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA QUALIDADE PARA A MELHORIA DE UM PROCESSO INDUSTRIAL Ananda Santa Rosa Santos Denise Simões Dupont Bernini Suzana Araujo de Azevedo Rodrigo Aldo Bazoni Scaquetti  <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130817">https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130817</a>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>224</b>
DISPOSITIVO DE FRICÇÃO CONTROLADA Jader Flores Schmidt Leonardo Haerter dos Santos Lucas Vinicius Capistrano de Souza Agnaldo Rosso Federico Rodriguez Gonzalez	

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130818>

**CAPÍTULO 19.....238**


LICENCIAMENTO AMBIENTAL DE ATERROS SANITÁRIOS NO ESTADO DO CEARÁ:  
EXIGÊNCIAS TÉCNICAS E LEGAIS NO ÂMBITO DA SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL  
DO MEIO AMBIENTE – SEMACE

Carlos Alberto Mendes Júnior

Edilson Holanda Costa Filho

Marilângela da Silva Sobrinho


Liliane Farias Guedes Lira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130819>

**CAPÍTULO 20.....245**

INDÚSTRIA AVANÇADA E LOT

Paulo César Rezende de Carvalho Alvim


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130820>

**CAPÍTULO 21.....250**

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE DIFERENTES POLIMEROS TERMOPLÁSTICOS  
EN EL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE MEZCLAS DE ASFALTO

Daniela Andrea Monterrosa Álvarez

Harveth Hernán Gil Sánchez

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130821>


**CAPÍTULO 22.....260**

COMPARAÇÃO DE LUBRIFICANTES NA ESTAMPAGEM PROFUNDA DO AÇO ARBL  
ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Tatiane Oliveira Rosa

Isabela Ferreira Neves

Lucas Alexandre de Carvalho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.99321130822>

**SOBRE O ORGANIZADOR .....270**

**ÍNDICE REMISSIVO.....271**

## OTIMIZAÇÃO DE VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

Data de aceite: 02/08/2021

Data de submissão: 04/06/2021

### Franz Augenthaler Avelino Coelho

Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza – CE

<http://lattes.cnpq.br/1852387948451357>

### João Batista Marques de Sousa Junior

Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza – CE

<http://lattes.cnpq.br/4429316167266869>

**RESUMO:** As estruturas mistas aço-concreto são projetadas visando ao aproveitamento das melhores características dos seus materiais de construção. Tipicamente, elas são constituídas por uma seção de aço trabalhando em conjunto com uma seção de concreto de preenchimento e/ou de envolvimento. As vigas mistas foram os primeiros elementos mistos utilizados, geralmente em modelos estruturais biapoiados. Entretanto, um rendimento ainda melhor dos materiais pode ser obtido com o emprego de modelos contínuos e semicontínuos. As pesquisas com vigas mistas semicontínuas, inspiradas pelo comportamento semi-rígido já consagrado nas estruturas metálicas, são relativamente recentes, especialmente no campo da otimização, no qual se buscam soluções que usem recursos de forma mais eficiente. A procura pela solução ótima de um problema pode se tornar um procedimento exaustivo e custoso. Por isso, os estudos de otimização têm se favorecido do

aparecimento de recursos computacionais cada vez mais poderosos. Os algoritmos genéticos têm se difundido rapidamente nos meios técnico e acadêmico, como um método de otimização de fácil programação e possibilidade de aplicação geral. Dada sua complexidade, o projeto de vigas mistas semicontínuas pode se beneficiar de uma abordagem de otimização para automatizar o processo e obter um aproveitamento ainda melhor de ambos os materiais. Neste trabalho, são desenvolvidas rotinas computacionais para dimensionamento ótimo automático de vigas biapoiadas, semicontínuas e contínuas, usando algoritmos genéticos no *Matlab*. A formulação do problema de otimização é detalhada. Os resultados obtidos com cada modelo são comparados. A influência das variáveis de projeto e dos parâmetros do algoritmo genético sobre os resultados também é discutida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vigas mistas semicontínuas; otimização; algoritmos genéticos.

### STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS OPTIMIZATION

**ABSTRACT:** Steel-concrete composite structures are designed to take advantage of the best characteristics of its building materials. Typically, they are made up of a steel section working in conjunction with a filling and/or wrapping concrete section. Composite beams were the first composite elements utilized, usually in simply supported structural models. However, those materials can have a better performance with the use of continuous and semi-continuous models. Inspired by the semi-rigid behavior already consecrated among steel structures, research of

semi-continuous composite beams is relatively recent, especially in the optimization research, which pursues solutions that use resources more efficiently. Searching for the optimal solution to a problem can become an exhausting and costly procedure. Hence, optimization studies have been favored by the emergence of increasingly powerful computational resources. Genetic algorithms have spread quickly in both technical and academic media, as an optimization method of easy programming and possibility of general application. Given its complexity, the design of semi-continuous composite beams can benefit from an optimization approach to both automate the process and obtain even better use of its materials. In this study, computational routines for automatic optimization of simply supported, continuous and semi-continuous beams are developed in Matlab, using genetic algorithms. Formulation of the optimization problem is detailed. Results from each structural model are compared. Influence of the design variables and the genetic algorithm parameters is also discussed.

**KEYWORDS:** Semi-continuous composite beams; optimization; genetic algorithms.

## 1 | INTRODUÇÃO

As estruturas mistas aço-concreto são projetadas visando ao aproveitamento das melhores características dos materiais de construção constituintes.

O sistema misto aço-concreto é formado por um perfil de aço (laminado, soldado ou formado a frio) trabalhando em conjunto com uma seção de concreto de preenchimento e/ou de envolvimento, formando elementos como pilares, vigas, lajes e ligações mistas. Sabe-se que numerosas contrapartidas resultam dessa composição, em relação aos sistemas de aço e de concreto armado isolados, destacando-se as reduções do consumo de materiais e dos prazos de construção (QUEIROZ, 2012).

As vigas mistas de aço e concreto foram os primeiros elementos mistos utilizados (DE NARDIN, 2005) e podem ser concebidas como biapoiadas, contínuas ou semicontínuas. O modelo biapoiado é preferível na maioria das situações, pela relativa simplicidade de execução e projeto.

No entanto, nos modelos contínuo e semicontínuo pode-se chegar a um aproveitamento dos materiais ainda mais eficiente, embora ao custo de execução e projeto mais trabalhosos, já que uma numerosa e intrincada quantidade de verificações é necessária. Para driblar esses inconvenientes, é interessante tratar o seu projeto como um problema de otimização, uma estratégia pela qual se buscam soluções que usem recursos de forma mais eficaz (ARORA, 2012).

Os algoritmos genéticos tiveram uma rápida difusão nos meios acadêmico e técnico, como método de resolução de problemas de otimização, devido à facilidade de programação e à possibilidade de aplicação a todos os tipos de problemas (ARORA, 2012).

Neste trabalho, são desenvolvidas rotinas computacionais para dimensionamento ótimo automático de vigas biapoiadas, semicontínuas e contínuas usando algoritmos genéticos no *Matlab*.



## 2 I FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO

O problema de otimização consiste no dimensionamento de vigas mistas não-escoradas em modelos biapoiado, semicontínuo e contínuo, submetidas a carregamentos uniformes permanentes e variáveis.

Em construção não-escorada, para os carregamentos aplicados até a resistência à compressão do concreto da laje atingir  $0,75 \cdot f_{ck}$ , cada vão da viga mista funciona como um trecho simplesmente apoiado sem a contribuição da laje de concreto. Por isso, durante essa fase, a seção da viga para verificação ao momento fletor corresponde apenas àquela do perfil de aço (Figura 1), devendo ser dimensionada de acordo com a seção 5.4 da NBR 8800:2008.

Após a resistência à compressão do concreto da laje atingir  $0,75 \cdot f_{ck}$ , é a seção mista que passa a suportar as cargas (Figura 2), o que é garantido pela ligação mecânica promovida por conectores de cisalhamento, entre o perfil de aço e a laje. Nesse caso, o dimensionamento segue o disposto no Anexo O e no Anexo R da NBR 8800:2008.

A característica física que distingue os modelos semicontínuo e contínuo do biapoiado é a utilização de ligações mistas nos apoios internos, cuja resistência depende das características da ligação metálica, dos conectores e das barras de armadura negativa.

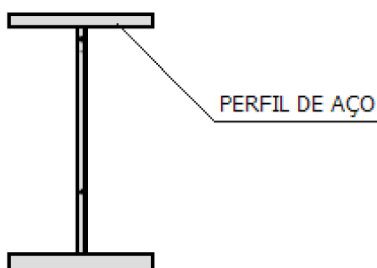


Figura 1 - Seção resistente da viga mista antes da cura do concreto da laje.

Para construção do modelo de otimização é necessário calcular as propriedades geométricas individuais do perfil metálico simples, dos conectores e das barras de armadura negativa, como área da seção transversal, momento de inércia, módulo de resistência plástico, módulo de resistência elástico, constante de torção, constante de empenamento, etc.

Também devem ser definidas as propriedades geométricas da seção mista efetiva, como momentos de inércia efetivos nas regiões de momentos positivos e negativos, módulo de resistência elástico efetivo na região de momentos positivos e grau de interação na região de momentos positivos.

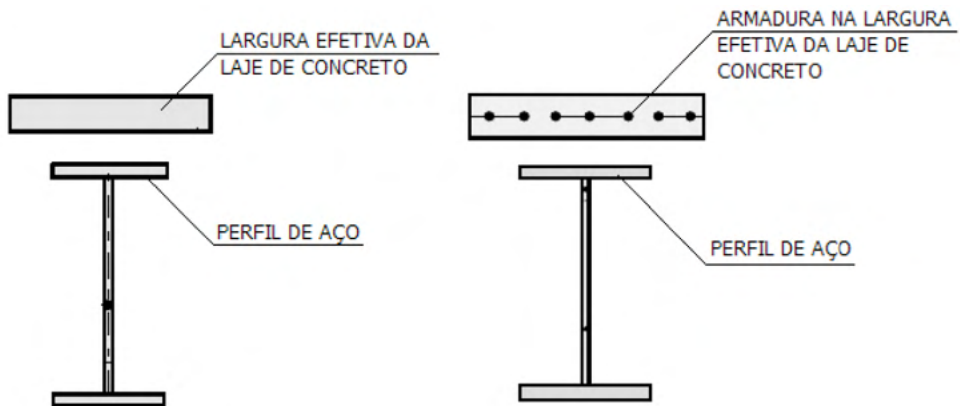


Figura 2 – Seções resistentes da viga mista após a cura do concreto da laje (momento positivo, à esquerda, e momento negativo, à direita).

A análise estrutural é executada por um modelo elástico linear, tanto no estado limite último (ruptura) como nos estados limites de serviço (deformação excessiva e fissuração), para os três tipos de modelos estruturais, o que é permitido pelo item 4.10.2 da NBR 8800:2008. Os esforços e deslocamentos são obtidos pelo método da rigidez direta.

As propriedades geométricas da seção da viga são usadas adequadamente em cada etapa de carregamento, isto é, antes e após a resistência do concreto da laje atingir  $0,75.f_{ck}$ , considerando-se aquelas correspondentes à seção de aço simples ou mista, respectivamente. Além disso, os efeitos de longa duração são incluídos simplificada e dividindo-se por 3 a razão modular (razão entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto).

Especificamente, nas vigas semicontínuas, as ligações mistas são consideradas como vínculos semi-rígidos nas extremidades das barras do modelo, como recomendado pelo item O.1.2.3 da NBR 8800:2008. Seu efeito é incluído através de uma alteração na matriz de rigidez usual de uma barra elástica, conforme Dhillon & Majid (apud SOUZA, 1999).

As variáveis de projeto do modelo de otimização são escolhidas entre as dimensões representativas dos elementos da seção (Figura 3 e Figura 4), fixando apenas a espessura da laje. Admitem-se tanto perfis de aço laminados quanto soldados. São escolhidos o perfil de aço ( $x_1$ ), o espaçamento entre conectores na região de momentos positivos no modelo biapoiado ( $x_2, a_{con}^+$ ) e nos modelos semicontínuo e contínuo ( $x_2, a_{con}^+$ ), o espaçamento entre conectores na região de momentos negativos ( $x_3, a_{con}^-$ ) e o espaçamento entre barras da armadura negativa ( $x_4, a_{neg}$ ).

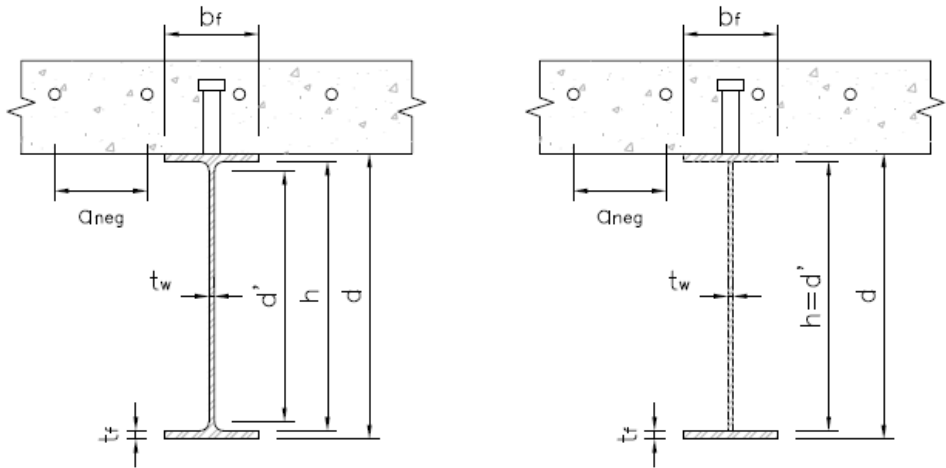


Figura 3 - Seção transversal da viga mista, com perfil laminado e perfil soldado.

As variáveis ostentam apenas valores discretos, pelo que é preciso mapear os valores reais (dimensões) para os valores codificados com os quais a função de otimização trabalha. Por causa disso, o código é escrito como um problema de programação inteira mista.

A variável  $x_1$  assume valores correspondentes aos perfis de aço mais comuns disponíveis comercialmente, sejam laminados ou soldados. As demais dimensões podem resultar nos seguintes valores (em cm):

$$\mathbf{x}_2 \text{ e } \mathbf{x}_3 = [5,0; 7,5; 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25; 27,5; 30; 32,5; 35; 37,5; 40] \quad (1)$$

$$\mathbf{x}_4 = [10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25] \quad (2)$$

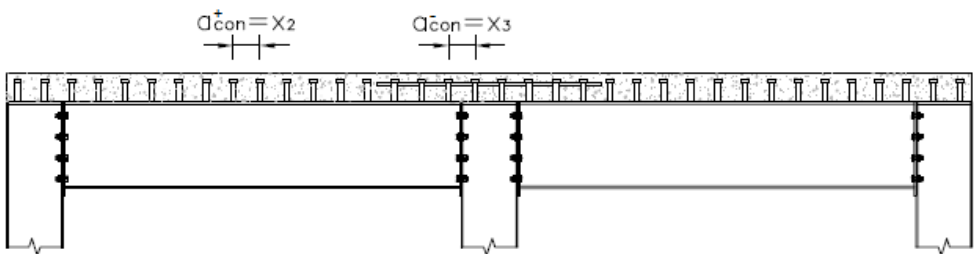


Figura 4 – Perfil longitudinal da viga mista, destacando algumas variáveis de projeto.

Para a função de aptidão, que permite julgar entre várias soluções a que mais se aproxima da ótima, a alternativa óbvia seria escolher o peso do perfil de aço. No entanto, percebe-se que o peso total dos materiais é uma medida mais representativa, já que todos eles podem ter quantidades variáveis de um modelo para outro. Logo, a função de aptidão vale:

$$F(\mathbf{x}) = W_t + W_{con} + W_{neg} \quad (3)$$

onde:

$W_t$  é o peso total do perfil de aço;

$W_{con}$  é o peso total dos conectores da viga mista;

$W_{neg}$  é o peso total das barras de armadura negativa da viga mista.

As restrições de projeto correspondem às verificações nos estados-limites último e de serviço impostas pelo dimensionamento, sendo detalhadas a seguir. Os índices “Ga” e “L” correspondem aos esforços ou deslocamentos antes e após a resistência do concreto da laje atingir  $0,75 \cdot f_{ck}$ .

Na verificação da seção simples, o momento fletor resistente deve ser calculado de acordo com o Anexo G, da NBR 8800:2008, considerando os estados-limites últimos de flambagem local da alma (FLA), flambagem local da mesa comprimida (FLM) e flambagem lateral com torção (FLT) do perfil. Assim, as restrições de **momentos nos estados-limites FLA, FLM e FLT (seção simples)** podem ser escritas como:

$$\frac{M_{Ga,Sd}}{M_{Rd,FLA}} \leq 1; \frac{M_{Ga,Sd}}{M_{Rd,FLM}} \leq 1; \frac{M_{Ga,Sd}}{M_{Rd,FLT}} \leq 1 \quad (4)$$

onde  $M_{Rd,FLA}$ ,  $M_{Rd,FLM}$  e  $M_{Rd,FLT}$  são os momentos fletores resistentes de cálculo nos três estados limites mencionados, respectivamente.

O momento solicitante deve ser limitado também por  $M_{Rd,Elástica}$ , impondo-se uma restrição de **momento para validade da análise elástica**:

$$\frac{M_{Ga,Sd}}{M_{Rd,Elástica}} \leq 1 \quad (5)$$

onde  $M_{Rd,Elástica}$  é dado no item 5.4.2.2 da NBR 8800:2008.

Para o esforço cortante solicitante, a restrição de **esforço cortante (seção simples)** é dada por:

$$\frac{V_{Ga,Sd}}{V_{Rd}} \leq 1 \quad (6)$$

onde  $V_{Rd}$  é calculado pelo item 5.4.3.1 da NBR 8800:2008.

No estado-limite de serviço de deformação excessiva, estabelece-se uma restrição de **deslocamento vertical (seção simples)**:

$$\frac{f_{Ga}}{f_{Ga,máx}} \leq 1 \quad (7)$$

onde  $f_{Ga,máx} = L/250$ , sendo  $L$  o vão da viga considerado.

Para o cálculo do momento resistente na FLA, é preferível não se trabalhar com alma esbelta. Assim cria-se uma restrição de **índice de esbelteza para evitar alma esbelta**

(seção simples):

$$\frac{\lambda_{FLA}}{\lambda_r} \leq 1 \quad (8)$$

onde  $\lambda_r$  é dado na Tabela G.1 da NBR 8800:2008.

Após a cura do concreto, as verificações passam a ser feitas para a seção mista. Na flexão simples, caso a seção seja compacta, prevê-se uma restrição de **momento fletor (seção mista compacta)**:

$$\frac{M_{Ga,Sd} + M_{L,Sd}}{M_{L,Rd}} \leq 1 \quad (9)$$

onde  $M_{L,Rd}$  obviamente para a região de momentos positivos, é calculado pelo item O.2.3 da NBR 8800:2008.

Como o modelo de otimização também pode prever uma seção semicompacta, é necessário definir uma restrição de **tensões (seção mista semicompacta)**:

$$\frac{\sigma_{L,t,Sd}}{f_{yd}} \leq 1, \text{ para tensões de tração e } \frac{\sigma_{L,c,Sd}}{f_{yd}} \leq 1, \text{ para tensões de compressão} \quad (10)$$

Também se estabelece uma restrição de **cortante (seção mista)**, com  $V_{L,Rd}$  calculado da mesma forma que para a seção simples:

$$\frac{V_{Ga,Sd} + V_{L,Sd}}{V_{L,Rd}} \leq 1 \quad (11)$$

Cria-se também uma restrição de **deslocamento vertical (seção mista)**, para atender novamente ao estado-limite de serviço de deformação excessiva:

$$\frac{f_{Ga} + f_L}{f_{L,máx}} \leq 1 \quad (12)$$

onde  $f_{L,máx} = L/350$ , sendo  $L$  o vão da viga considerado.

Conforme item O.1.1.2, alínea c), da NBR 8800:2008, a seção da viga mista também não pode ter alma esbelta, pelo que se impõe a restrição de **índice de esbeltez para evitar alma esbelta (seção mista)**:

$$\frac{\lambda_a}{\lambda_r} \leq 1 \quad (13)$$

Já segundo o item O.2.3.1.1.2 da NBR 8800:2008, o grau de interação da viga mista deve ter um limite inferior, gerando a restrição de **grau de interação mínimo**:

$$\frac{\eta_{i,min}}{\eta_i} \leq 1 \quad (14)$$

Pelo item O.2.3.2 da NBR 8800:2008, em vigas mistas semicompactas, deve-se ter

também uma restrição de **verificação adicional para construção não-escorada**:

$$\frac{M_{Ga,Sd}}{W_a \cdot f_{yd}} + \frac{M_{LSd}}{W_{ef} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad (15)$$

onde  $W_a$  e  $W_{ef}$  são os módulos de resistência elásticos da seção de aço simples e da seção mista, respectivamente.

Deve-se ainda garantir um espaçamento mínimo entre conectores pino com cabeça, conforme o item O.4.3.3 da NBR 8800:2008, através da restrição de **espaçamento mínimo entre conectores**:

$$\frac{6 \cdot d_{csp}}{a_{con}} \leq 1 \quad (16)$$

Antes da cura do concreto da laje, uma viga mista em modelo semicontínuo funciona exatamente como no modelo biapoiado. Assim as restrições (4), (5), (6), (7) e (8) continuam válidas.

Como antes, as verificações passam a ser feitas para a seção mista, após a cura do concreto. Entretanto, outras restrições que caracterizam o modelo semicontínuo são necessárias. Na flexão simples, para o caso de a seção ser compacta, inclui-se uma restrição de **momento fletor positivo (seção mista compacta)**:

$$\frac{M_{Ga,Sd} + M_{L,Sd}^+}{M_{L,Rd}^+} \leq 1 \quad (17)$$

onde  $M_{L,Rd}^+$  o momento resistente de cálculo na região de momentos positivos, é calculado pelo item O.2.3 da NBR 8800:2008.

Como há continuidade no modelo semicontínuo, define-se também uma restrição de **momento fletor negativo (seção mista)**:

$$\frac{M_{L,Sd}^-}{M_{L,Rd}^-} \leq 1 \quad (18)$$

onde  $M_{L,Rd}^-$  o momento resistente de cálculo na região de momentos negativos, é calculado pelo item O.2.4 da NBR 8800:2008.

O surgimento de tensões de compressão na mesa inferior do perfil de aço, na região de momentos negativos, é outra particularidade do modelo semicontínuo. Por isso, uma restrição de **momento fletor no estado limite de flambagem distorcional (seção mista)**, também é requerida:

$$\frac{M_{L,Sd}^-}{M_{L,dist,Rd}^-} \leq 1 \quad (19)$$

onde  $M_{L,dist,Rd}^-$  o momento resistente de cálculo na região de momentos negativos, para o estado-limite de flambagem lateral com distorção, é calculado pelo item O.2.5 da

NBR 8800:2008.

A ligação mista da viga semicontínua deve resistir ao momento fletor negativo. Assim, uma restrição de **momento da ligação mista (seção mista)** é imposta:

$$\frac{M_{L,Sd}^-}{M_{L,lig,Rd}} \leq 1 \quad (20)$$

A ligação mista deve ter uma capacidade de rotação mínima conforme a seção R.4 da NBR 8800:2008. Para usar as tabelas dessa seção, é necessário que o momento fletor resistente de cálculo da ligação seja igual ou superior a 30% do momento resistente na região de momentos positivos da viga mista. Isso se traduz na restrição de **momento para capacidade de rotação necessária da ligação mista**:

$$\frac{0,3 \cdot M_{L,Rd}^+}{M_{L,lig,Rd}} \leq 1 \quad (21)$$

Com uma restrição de **número de conectores para interação completa na região de momentos negativos**, assegura-se que haja um número mínimo de conectores nessa região, conforme item O.2.4.3 da NBR 8800:2008:

$$\frac{T_{ds}}{\sum Q_{Rd,esq}} \leq 1, \text{ à esquerda e } \frac{T_{ds}}{\sum Q_{Rd,dir}} \leq 1, \text{ à direita do apoio} \quad (22)$$

Segundo a seção O.5 da NBR 8800:2008, o controle de fissuras na região de momento negativos deve ser garantido por duas restrições: **armadura mínima sob deformações impostas** e **armadura mínima sob ações impostas**, representadas, respectivamente, pelas equações:

$$\frac{A_s}{A_{sl}} \leq 1 \text{ e } \frac{w}{w_k} \leq 1 \quad (23)$$

onde:

$A_s$  é a área de armadura mínima sob deformações impostas;

$w$  é a abertura de fissuras estimada;

$w_k$  é a abertura de fissuras máxima característica, conforme Tabela 13.4 da NBR 6118:2014.

As ligações mistas com chapa de extremidade com altura total e com cantoneiras parafusadas na alma e na mesa inferior podem prescindir da contribuição da alma da viga apoiada para o cálculo da rigidez e da resistência a momento, de acordo com o item R.2.5.1 da NBR 8800:2008. Para isso, deve-se impor um **parâmetro de esbeltez distorcional**, apresentado no item O.2.5.2 da NBR 8800:2008:

$$\frac{\lambda_{dist}}{0,4} \leq 1 \quad (24)$$

Como a viga mista semicontínua também não pode ter alma esbelta, a restrição de **índice de esbeltez para evitar alma esbelta (seção mista)**, do modelo biapoiado, na equação (13), repete-se:

$$\frac{\lambda_a}{\lambda_r} \leq 1 \quad (25)$$

Conforme o item O.1.1.2, alínea d), da NBR 8800:2008, a viga mista semicontínua só pode ser compacta, impondo-se restrições de **índice de esbeltez da mesa** e **índice de esbeltez da alma comprimida**, respectivamente:

$$\frac{\lambda_m}{\lambda_p} \leq 1 \text{ (mesa comprimida)} \text{ e } \frac{\lambda_{ac}}{\lambda_p} \leq 1 \text{ (parcela comprimida da alma)} \quad (26)$$

onde  $\lambda_p$ , para cada caso, é dado na Tabela G.1 da NBR 8800:2008.

As restrições de **grau de interação mínimo e verificação adicional para construção não-escorada**, do modelo biapoiado, nas equações (14) e (15), também se repetem no semicontínuo.

Como antes, é preciso garantir um espaçamento mínimo entre conectores pino com cabeça, conforme o item O.4.3.3 da NBR 8800:2008, através das restrições de **espaçamento mínimo entre conectores na região de momentos positivos** e **espaçamento mínimo entre conectores na região de momentos negativos**, respectivamente:

$$\frac{6 \cdot d_{csp}}{a_{con}^+} \leq 1 \text{ (momentos positivos)} \text{ e } \frac{6 \cdot d_{csp}}{a_{con}^-} \leq 1 \text{ (momentos negativos)} \quad (27)$$

Por fim, assegura-se o funcionamento da ligação mista com as restrições de **capacidade de rotação necessária da ligação mista à esquerda do apoio** e **capacidade de rotação necessária da ligação mista à direita do apoio**:

$$\frac{\theta_{nec}}{\theta_{esq}} \leq 1 \text{ (à esquerda do apoio)} \text{ e } \frac{\theta_{nec}}{\theta_{dir}} \leq 1 \text{ (à direita do apoio)} \quad (28)$$

onde:

$\theta_{nec}$  é a capacidade de rotação necessária para a ligação mista, conforme seção R.4 da NBR 8800:2008;

$\theta_{esq}$  é a rotação da ligação mista à esquerda do apoio considerado;

$\theta_{dir}$  é a rotação da ligação mista à direita do apoio considerado;

No modelo contínuo, todas as restrições do modelo semicontínuo se repetem, com exceção de **momento da ligação mista (seção mista)**, **momento para capacidade de rotação necessária da ligação**, **parâmetro de esbeltez distorcional**, **capacidade de rotação necessária da ligação mista à esquerda do apoio** e **capacidade de rotação necessária da ligação mista à direita do apoio**, nas equações (20), (21), (24) e (28), respectivamente.



A função *ga*, disponível na ferramenta de otimização do *Matlab*, é usada para construir o modelo de otimização, baseado em algoritmos genéticos. Essa função admite restrições não lineares e permite configurar, com facilidade, parâmetros usuais de um algoritmo genético, como o tamanho da população e o número de gerações. Esses parâmetros são estipulados experimentalmente, em cada caso. Já as taxas de elitismo, cruzamento e mutação são mantidas com os valores *default* da função, valendo 5% do tamanho da população (e mínimo de 2 indivíduos), 80% do tamanho da população (descontada a elite) e 20% do tamanho da população (descontada a elite), respectivamente.

### 3 I ESTUDO DE CASO

O perfil da viga mista estudada é mostrado na Figura 4, para o caso do modelo semicontínuo. O modelo estrutural proposto é de uma viga com dois vãos iguais, de 8,00 m de comprimento cada um, cujo apoio central é dotado de ligação mista sobre pilar com chapa de extremidade com altura total (Figura R.1 da NBR 8800:2008). Cada vão possui contenção lateral no centro. Os três modelos estruturais são exibidos na Figura 5. As cargas provenientes da laje maciça que se apoia são:

- Carregamento permanente aplicado antes de a resistência do concreto da laje atingir  $0,75.f_{ck}$ :  $p_{gGa} = 300 \text{ kg/m}^2$  (laje maciça unidirecional,  $h = 12 \text{ cm}$ ,  $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$ );
- Carregamento permanente aplicado após a resistência do concreto da laje atingir  $0,75.f_{ck}$ :  $p_{gL} = 120 \text{ kg/m}^2$  (revestimento);
- Carregamento acidental aplicado antes de a resistência do concreto da laje atingir  $0,75.f_{ck}$ :  $p_{qGa} = 100 \text{ kg/m}^2$  (carga de utilização de execução);
- Carregamento acidental aplicado após a resistência do concreto da laje atingir  $0,75.f_{ck}$ :  $p_{qL} = 400 \text{ kg/m}^2$  (carga de utilização de sala de depósito de livros).

Com um espaçamento de  $a = 3,00 \text{ m}$  entre as vigas do pavimento, obtêm-se as seguintes cargas distribuídas na viga:  $p_{gGa} = 9,00 \text{ kN/m}$ ,  $p_{gL} = 3,60 \text{ kN/m}$ ,  $p_{qGa} = 3,00 \text{ kN/m}$ ,  $p_{qL} = 12,00 \text{ kN/m}$ .

Os conectores de cisalhamento possuem  $d_{csp} = 19 \text{ mm}$  e  $f_u = 450 \text{ MPa}$ . Por sua vez, a armadura negativa é composta por barras de aço CA-50 e  $\phi = 12,5 \text{ mm}$ .

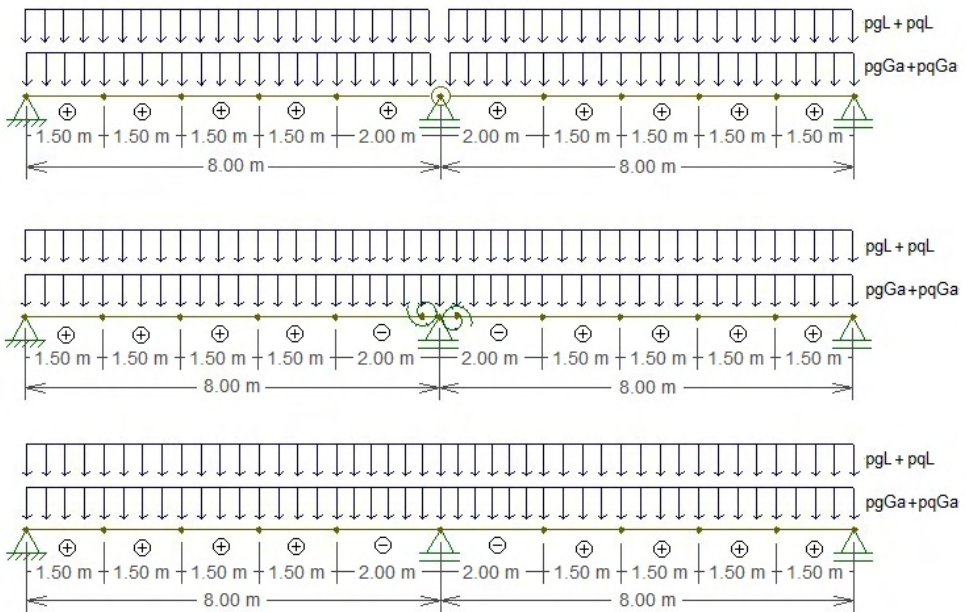


Figura 5 – Modelos estruturais de barras da viga mista estudada.

A análise do modelo biapoado atende a todas as restrições e resulta nos seguintes valores:

Tamanho da população	Número de gerações	Perfil de aço laminado	$a_{con}$ (cm)	$F(x)$ (kg)	Grau de interação	Viável
50	10	W 460 x 52,0	32,5	840,55	0,51	Sim
100	20	W 460 x 52,0	32,5	840,55	0,51	Sim
150	30	W 460 x 52,0	32,5	840,55	0,51	Sim

Tabela 1 - Resultados do modelo biapoado, com perfil laminado.

Partindo dos parâmetros do algoritmo genético mostrados na Tabela 1, vê-se que os resultados obtidos no modelo biapoado são sempre os mesmos.

Já os processamentos dos modelos semicontínuo e contínuo chegam às seguintes quantidades:

Tamanho da população	Número de gerações	Perfil de aço laminado	$a^*_{con}$ (cm)	$\bar{a}_{con}$ (cm)	$a_{neg}$ (cm)	$F(x)$ (kg)	Grau de interação	Viável
<b>Modelo semicontínuo (<math>\beta_{vm} = 0,85</math>)</b>								
10	5	W 610 x 174,0	17,5	30,0	10,0	2.818,60	0,54	Não
30	15	W 410 x 46,1	22,5	22,5	10,0	769,33	0,66	Sim
30	15	W 410 x 46,1	22,5	27,5	10,0	769,33	0,66	Sim
<b>Modelo contínuo</b>								
10	5	W 610 x 174,0	15,0	12,5	10,0	2.823,90	0,63	Sim
30	15	W 410 x 46,1	17,5	37,5	17,5	763,76	0,85	Sim
30	15	W 410 x 46,1	17,5	37,5	17,5	763,76	0,85	Sim

Tabela 2 - Resultados dos modelos semicontínuo e contínuo, com perfil laminado.

Vê-se que os parâmetros do algoritmo genético influenciam fundamentalmente na obtenção dos resultados dos modelos semicontínuo e contínuo. Para 10 indivíduos e 5 gerações, ambos os modelos atingem pesos totais bastante distorcidos, em relação ao obtido no modelo biapoiado. Adicionalmente, a solução do modelo semicontínuo não é viável, ao violar algumas restrições.

Com 30 indivíduos e 15 gerações, ambos os modelos parecem convergir e chegam a valores convenientes, ou seja, inferiores ao peso total do modelo biapoiado. Como se percebe, o modelo semicontínuo permite uma redução de 8,47% do peso total da viga. No modelo contínuo, essa redução alcança 9,13%.

Além disso, quando os modelos semicontínuo e contínuo convergem, atingem um grau de interação na região de momentos positivos superior ao do modelo biapoiado, também para o caso em questão. Conseqüentemente, obtêm-se menores espaçamentos entre conectores, em ambos.

A redução do peso do perfil de aço, isoladamente, produz uma economia de 11,35%, também em ambos os modelos. Assim, embora haja mais conectores, com um perfil mais leve obtêm-se uma viga mista mais leve, nesse caso.

Também são apresentados resultados para o modelo biapoiado considerando, agora, perfil de aço soldado:

Tamanho da população	Número de gerações	Perfil de aço soldado	$a_{con}$ (cm)	$F(x)$ (kg)	Grau de interação	Viável
50	10	VS 400 x 49,0	20,0	798,24	0,90	Sim
100	20	VS 400 x 44,0	15,0	723,23	1,35	Sim
150	30	VS 400 x 44,0	15,0	723,23	1,35	Sim

Tabela 3 - Resultados do modelo biapoiado, com perfil soldado.

Da Tabela 3, como se percebe, o tamanho da população e o número de gerações são importantes para determinação do peso total com perfil soldado, em oposição ao

comportamento do modelo com perfil laminado, já que o modelo converge prematuramente com 50 indivíduos e 10 gerações. Na mesma comparação, obtêm-se uma viga mista e um perfil de aço mais leves, embora ao custo de um grau de interação superior, que se traduz num menor espaçamento entre conectores. As reduções destacadas são de 13,95% e 15,38%, respectivamente.

Os modelos semicontínuo e contínuo também são processados considerando perfil de aço soldado, resultando em:

Tamanho da população	Número de gerações	Perfil de aço soldado	$a_{con}^+$ (cm)	$a_{con}$ (cm)	$a_{neg}$ (cm)	$F(x)$ (kg)	Grau de interação	Viável
<b>Modelo semicontínuo (<math>\beta_{vm} = 0,85</math>)</b>								
10	5	VS 400 x 58,0	20,0	17,5	17,5	954,87	0,61	Não
30	15	VS 400 x 60,0	22,5	27,5	10,0	991,73	0,51	Não
30	15	VS 400 x 60,0	22,5	27,5	10,0	991,73	0,51	Não
<b>Modelo contínuo</b>								
10	5	VS 400 x 60,0	20,0	20,0	15,0	986,52	0,58	Sim
30	15	VS 400 x 58,0	22,5	25,0	20,0	952,38	0,53	Sim
30	15	VS 400 x 58,0	22,5	25,0	20,0	952,38	0,53	Sim

Tabela 4 - Resultados dos modelos semicontínuo e contínuo, com perfil soldado.

Como se depreende da Tabela 4, o modelo semicontínuo não converge, para quaisquer valores de tamanho da população e número de gerações, impossibilitando a comparação com o modelo biapoiado.

A Tabela 5 revela as restrições que foram violadas pelo modelo de otimização semicontínuo (valores positivos não nulos): momento para capacidade de rotação necessária da ligação (0,142) e parâmetro de esbeltez distorcional máximo (0,005). A primeira demonstra que a ligação encontrada não possui resistência suficiente para equivaler a 30% do momento positivo resistente, como requerido para que seja tratada como uma ligação mista de viga semicontínua. Já a segunda indica que o perfil encontrado ultrapassa o parâmetro de esbeltez distorcional que permite desprezar a contribuição da alma da viga para a rigidez e a resistência da ligação mista. Como se sabe, essas restrições não existem nem no modelo contínuo, nem no modelo biapoiado.

Restrição	Modelo	
	Semicontínuo	Contínuo
<b>Momentos nos estados limites FLA, FLM e FLT (seção simples)</b>	-0,706; -0,706; -0,621	-0,660; -0,660; -0,570
<b>Momento para validade da análise elástica</b>	-0,782	-0,749
<b>Cortante (seção simples)</b>	-0,875	-0,891
<b>Deslocamento (seção simples)</b>	-0,714	-0,630
<b>Índice de esbeltez para evitar alma esbelta (seção simples)</b>	-0,508	-0,566
<b>Momento positivo (seção mista compacta)</b>	-0,550	-0,612
<b>Momento negativo (seção mista)</b>	-0,831	-0,640
<b>Momento no estado limite de flambagem distorcional (seção mista)</b>	-0,819	-0,595
<b>Momento da ligação mista (seção mista)</b>	-0,410	-
<b>Momento para capacidade de rotação necessária da ligação</b>	<b>0,142</b>	-
<b>Tensões (seção mista semicompacta)</b>	-1,000; -1,000	-1,000; -1,000
<b>Cortante (seção mista)</b>	-0,701	-0,725
<b>Deslocamento (seção mista)</b>	-0,381	-0,294
<b>Número de conectores para interação completa na região de momentos negativos</b>	-0,501; -0,501	-0,738; -0,738
<b>Armadura mínima sob deformações impostas e armadura mínima sob ações impostas</b>	-0,508; -9,425	-0,180; -16,915
<b>Parâmetro de esbeltez distorcional</b>	<b>0,005</b>	-
<b>Índice de esbeltez para evitar alma esbelta (seção mista)</b>	-0,508	-0,566
<b>Índice de esbeltez da mesa comprimida e índice de esbeltez da alma comprimida (seção mista)</b>	-0,126; -0,007	-0,126; -0,194
<b>Grau de interação mínimo</b>	-0,044	-0,083
<b>Verificação adicional para construção não-escorada</b>	0,000	0,000
<b>Espaçamento mínimo entre conectores</b>	-0,493; -0,585	-0,493; -0,544
<b>Capacidade de rotação necessária da ligação mista à esquerda e à direita do apoio</b>	-0,072; -0,072	-

Tabela 5 - Restrições nos modelos semicontínuo e contínuo, com perfil soldado.

Por outro lado, conforme a Tabela 4, o modelo contínuo parece convergir, chegando a um resultado constante ao se empregar 30 indivíduos e 15 gerações. Apesar disso, o perfil de aço e a viga mista obtidos são mais pesados do que no modelo biapoiado, de 31,82% e 31,68%, respectivamente.

Para investigar por que isso acontece, verifica-se a viga mista obtida no modelo biapoiado através do modelo contínuo. As restrições de índice de esbeltez da mesa (0,151) e de índice de esbeltez da alma comprimida (0,147) são violadas. Essas restrições garantem que a viga mista contínua (ou semicontínua) seja compacta (item O.1.1.2, alínea d), da NBR 8800:2008), mas não existem no modelo biapoiado.

## 4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho, rotinas computacionais de otimização baseadas na função *ga* do *Matlab* são desenvolvidas e aplicadas no dimensionamento ótimo de uma viga mista, em modelos biapoiado, semicontínuo e contínuo.

O estudo conduzido revela que, variando apenas as vinculações dos modelos estruturais, e mantendo as demais características do problema constantes, nem sempre é possível se obter uma solução mais vantajosa com os modelos semicontínuo e contínuo. Isso não se dá por causa dos esforços e deslocamentos obtidos, que são efetivamente inferiores aos do modelo biapoiado, mas sim devido a restrições dimensionais e de rigidez impostas pelo dimensionamento. Mostra-se que essas limitações podem levar tanto a soluções não viáveis, quando o modelo de otimização as viola, quanto a soluções indesejáveis, com pesos maiores que os encontrados com o modelo biapoiado.

As restrições mais problemáticas do modelo contínuo são o índice de esbeltez da mesa e o índice de esbeltez da alma comprimida. Com essas restrições, garante-se que se tenha a seção compacta da viga mista. Pode-se mostrar que 86,4% dos perfis laminados disponíveis conseguem atender ao limite do índice de esbeltez da mesa, por exemplo, enquanto essa fração é de apenas 47,9%, na lista de perfis soldados. De fato, os resultados mostram que, em geral, os perfis de aço laminado têm melhor desempenho na confecção de vigas mistas contínuas (e também semicontínuas), do que os perfis de aço soldado, levando, com estes, a resultados viáveis ou desejáveis com mais frequência. Ao se usar um aço com resistência ao escoamento menor, como o A 36, por exemplo, aquelas porcentagens se elevariam para 95,45% e 72,27%, aumentando as possibilidades de se atender àquelas restrições, embora com uma resistência inferior.

No modelo semicontínuo, além das restrições dimensionais já discutidas, também são limitantes a capacidade de rotação necessária da ligação mista, o parâmetro de esbeltez distorcional e a capacidade de rotação necessária da ligação mista à esquerda e à direita do apoio. Essas restrições estão diretamente relacionadas ao procedimento de verificação da rotação da ligação mista, pelas tabelas R.1 (ligação tipo 1), R.2 (ligação tipo 2) e R.3 (ligação tipo 3) da NBR 8800:2008. Em outro cenário, supostamente, seria possível driblar essas restrições, ao se calcular abertamente a rotação necessária da ligação por análise elasto-plástica, como se mostra em Pires (2003), e também ao se considerar a contribuição da alma do perfil para a rigidez e a resistência a momento da ligação mista (que é desprezada nas ligações tipo 1 e tipo 2).

Apesar da desvantagem apontada anteriormente para a série de perfis soldados, os exemplos analisados levam a crer que é possível, entre todos os cenários, obter a solução mais leve possível através do modelo biapoiado com esse tipo de perfil. A maior variedade dimensional contribui para a sua supremacia, atingindo interação completa em todos os casos analisados.

Porém, em uma análise mais abrangente, não se pode eliminar a chance de uso dos modelos com continuidade, que podem ser essenciais em pórticos não contraventados, por exemplo, onde a rigidez das ligações é importante para a sua estabilidade. Em situações desse tipo, mostra-se que os modelos semicontínuo e contínuo levam a vigas mistas mais leves, com uso de perfil laminado.

Ressalte-se que essas distinções de comportamento observadas entre perfis laminados e soldados estão intimamente relacionadas às séries de perfis disponíveis comercialmente, e que podem ser facilmente superadas pela proposição de novas classes de perfis.

## REFERÊNCIAS

Arora, J. S. **Introduction to optimum design**. 3<sup>rd</sup> ed. Waltham: Academic Press/Elsevier, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto**. Rio de Janeiro, 2008.

De Nardin, S., Souza, A. S. C. de, El Debs, A. L. C. H., El Debs, M. K. **Estruturas mistas aço-concreto origem, desenvolvimento e perspectivas**. In: 47<sup>o</sup> Congresso Brasileiro do Concreto, Recife, p. 69-84, 2005.

*Matlab. Optimization Toolbox user's guide*. Natick: Mathworks, 2015.

Pires, V. H. S. **Automação do cálculo de vigas mistas semicontínuas incluindo ligações mistas**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

Queiroz, Gilson. **Manual da construção em aço – Estruturas mistas vol. 1**. 2 ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

Queiroz, Gilson. **Manual da construção em aço – Estruturas mistas vol. 2**. 2 ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

Souza, M. L. de. **Análise de estruturas de aço com ligações semi-rígidas em teoria de 2<sup>a</sup> ordem**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 1999.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Algoritmos genéticos 109, 113, 118, 144, 145, 154  
Ansiedade 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205  
Apoio à decisão 1, 7  
Arduino 35, 68, 69, 70, 71, 74, 75, 161, 165, 166, 167, 168, 170, 171, 176  
Asfalto 250, 252, 253, 257  
Assistive technology 68  
Aterro sanitário 238, 240, 241, 242, 243  
Automação 68, 69, 76, 135, 141, 160, 165, 245, 246  
Automation 66, 68  
Avaliação de impacto 238  
Avaliação de satisfação 1, 8  
Avaliação do ensino de engenharia 1

### B

Biomecânica óssea 52  
Bracelete eletrônico 161  
Building energy modelling 78, 91  
Building information modelling 78

### C

Cadeira de rodas 68, 69, 71, 72, 73, 75, 76, 77  
Cartilha 196, 198, 199, 200, 203, 204, 205  
Ciclo de vida 81, 250, 252  
Commodities ambientais 13, 15, 17, 18, 24, 25, 26  
Composição dodecafônica 108, 118  
Conforto 27, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 35, 200, 203  
Cosméticos 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25  
Crescimento econômico sustentável 13, 14, 15  
Criança 196, 197, 198, 200, 201, 202, 203, 204, 205

### D

Deficiência visual 161, 162, 163, 172, 174  
Discrete analysis 177



Dispositivo de fricção controlada 224, 226, 228, 229, 232, 233, 234, 236

## **E**

Efeito de bloqueio 92, 93, 107

Efficiency 51, 78, 94

Eletrotécnica 132, 133, 134, 135

Energia incorporada 250, 252, 253, 254, 255, 256

Energy sustainability 78

Engenharia elétrica 37, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 195

Ensino 1, 2, 3, 7, 11, 12, 24, 119, 120, 121, 122, 130, 131, 132, 134, 135, 137, 138, 142, 162, 167, 174

Estampagem profunda 260, 262, 263

Estudo ambiental 238, 241, 242

Extreme events 177, 183, 185, 187

## **F**

Fêmur 52, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61

Ferramentas da qualidade 206, 207, 208, 214, 217, 218, 220, 221

Fluxo de carga 190

## **G**

Gestão 1, 2, 3, 5, 6, 7, 11, 12, 121, 131, 188, 206, 207, 208, 209, 217, 220, 221, 222, 243, 246, 270

## **H**

Huella de carbono 250, 252, 253, 254, 255, 256

## **I**

IoT 245, 248

## **L**

Licenciamento ambiental 238, 240, 241, 243, 244

Limiar duro 37

Limiar suave 37

Lubrificante mineral 260

Lubrificante vegetal 260

## **M**

Mapeamento sistemático da literatura 132, 133

Mecânica dos fluidos computacional (CFD) 93

Metaheurísticas 108, 109, 118

Modelagem digital 119, 120, 122

Modelo de elementos finitos específico do paciente 52

Módulo de Young 52, 53, 59, 60, 62, 63, 64, 65

## **N**

Northeast coast of South America 177, 180, 187

## **O**

Otimização 75, 108, 144, 145, 146, 147, 148, 150, 154, 157, 159, 191, 206, 241

## **P**

Polímeros termoplásticos 250, 255, 256, 257

Problema do caixeiro viajante 108, 109, 111, 117, 118

Processamento de imagens 52, 54

Processo industrial 206

## **Q**

Questionário on-line 132, 136

## **S**

Saúde 15, 29, 35, 74, 196, 198, 200, 201, 203, 205, 238, 239, 240, 261

Sensor de umidade 27, 28, 31, 35

Simulação numérica 61, 65, 260

Sinal de voz 37, 38, 42, 44, 45

Sistemas de distribuição 190, 191, 194, 195

Sistemas de potência 190

## **T**

Tecnologia assistiva 68

Têxteis esportivos 27, 29, 34, 35

Tomografia computadorizada 52, 53

Transformada Wavelet 37, 38, 39, 41

## **V**

VAACT 92, 93, 94

Vigas mistas semicontínuas 144, 160

## W


Wheelchair 68


# *A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a sociedade*

# 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) 




---

# A visão sistêmica e integrada das **engenharias** e sua **integração com a sociedade**

# 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) 