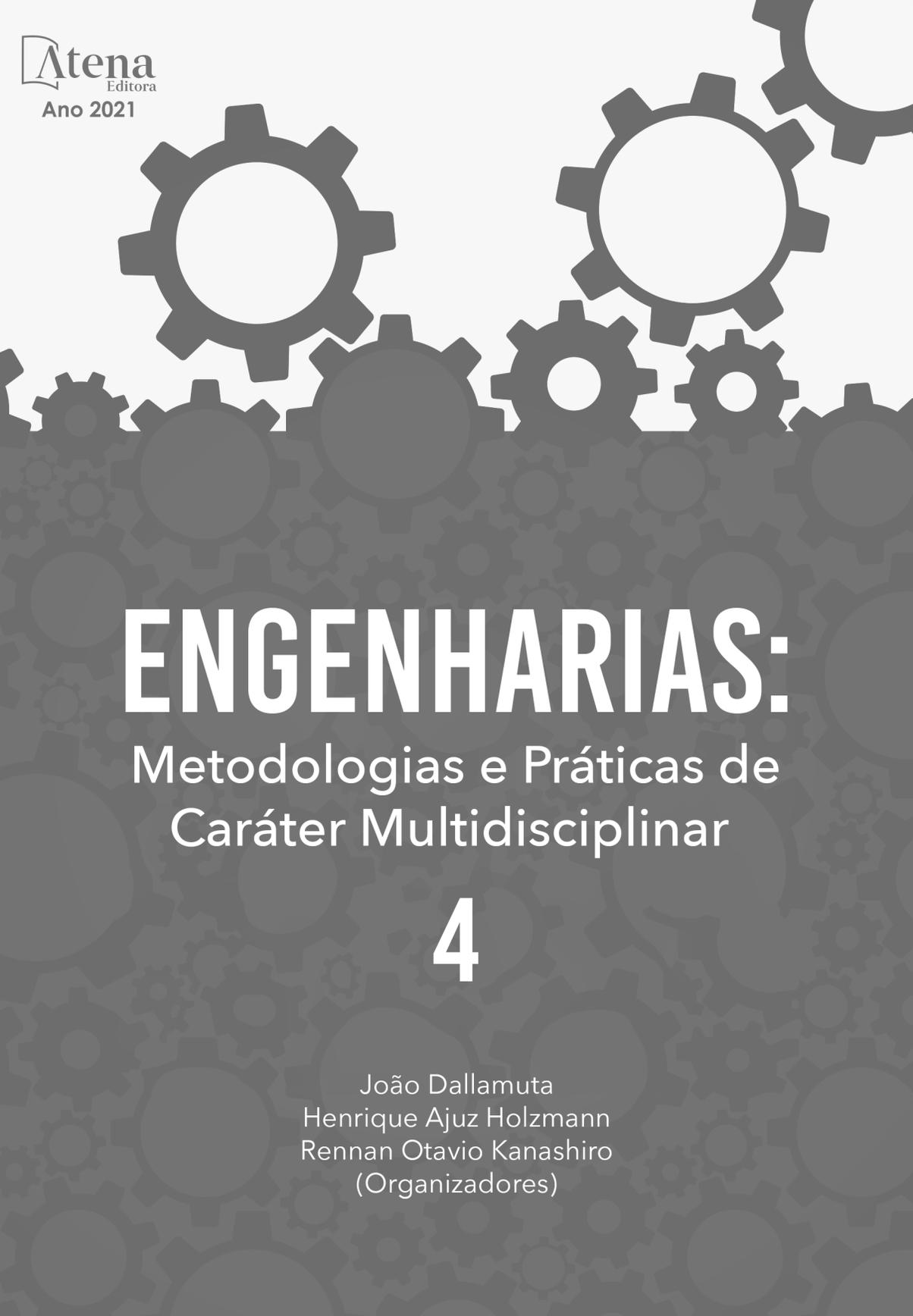


# ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de  
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro  
(Organizadores)



# ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de  
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro  
(Organizadores)

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

**Conselho Editorial**

**Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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

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

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

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> 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<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

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

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Linguística, Letras e Artes**

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

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais  
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein  
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza  
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie  
Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof<sup>ª</sup> Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Prof<sup>ª</sup> 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:** Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecária:** Janaina Ramos  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizador:** João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro

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

E57 Engenharia: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar 4 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-889-2

DOI 10.22533/at.ed.892211003

1. Engenharia. I. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Kanashiro, Rennan Otavio (Organizador). IV. 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

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

## APRESENTAÇÃO

Caro(a) leitor(a)

Como definir a engenharia? Por uma ótica puramente etimológica, ela é derivada do latim *ingenium*, cujo significado é “inteligência” e *ingeniare*, que significa “inventar, conceber”.

A inteligência de conceber define o engenheiro. Fácil perceber que aqueles cujo ofício está associado a inteligência de conceber, dependem umbilicalmente da tecnologia e a multidisciplinaridade.

Nela reunimos várias contribuições de trabalhos em áreas variadas da engenharia e tecnologia. Ligados sobretudo a indústria petroquímica com potencial de impacto nas engenharias. Aos autores dos diversos trabalhos que compõe esta obra, expressamos o nosso agradecimento pela submissão de suas pesquisas junto a Atena Editora. Aos leitores, desejamos que esta obra possa colaborar no constante aprendizado que a profissão nos impõe.

Boa leitura!

João Dallamuta  
Henrique Ajuz Holzmann  
Rennan Otavio Kanashiro

## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### **SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO SIMPLES**

Vinícius Borges de Moura Aquino

Marco Donisete de Campos

**DOI 10.22533/at.ed.8922110031**

### **CAPÍTULO 2..... 18**

#### **SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLEXÃO DE VIGAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO ARMADO**

Afonso Henrique de Campos Rodrigues

Marco Donisete de Campos

**DOI 10.22533/at.ed.8922110032**

### **CAPÍTULO 3..... 34**

#### **THE USE OF BABASSU COCONUT FIBERS IN THE PRODUCTION OF CONCRETE**

Wilson Alves Oliveira Junior

Maria Elayne Rodrigues Alves

Bruna Leal Melo de Oliveira

João Batista de Oliveira Libório Dourado

Aluska do Nascimento Simões Braga

Valdeci Bosco dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.8922110033**

### **CAPÍTULO 4..... 40**

#### **RECICLAGEM DO POLIPROPILENO PARA OBTENÇÃO DO COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM PÓ DE OSTRAS**

Terezinha Jocelen Masson

Rafael dos Santos Lima

**DOI 10.22533/at.ed.8922110034**

### **CAPÍTULO 5..... 58**

#### **DESMITIFICANDO A RADIOATIVIDADE**

Leandro Soares da Silva

Déborah Vitória de Souza Silva

Eduardo Mendonça Pereira Cavalcanti

Kauã Felipe Santiago

José Allan da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.8922110035**

### **CAPÍTULO 6..... 66**

#### **PROPOSTA DE SILO GRANELEIRO TEMPORÁRIO PARA FAZENDAS DA FRONTEIRA AGRÍCOLA DO BRASIL**

José Roberto Rasi

Jorge Augusto Serafim

Jonathan Figueiredo Broetto

**DOI 10.22533/at.ed.8922110036**

**CAPÍTULO 7.....84**

**USO DE METANOL E ETANOL NO DIAGNÓSTICO DE FALHAS TÉRMICAS ENVOLVENDO PAPEL KRAFT ISOLANTE**

Helena Maria Wilhelm  
Paulo Oliveira Fernandes  
Geovana Carolina dos Santos  
Maria Letícia Gomes dos Santos  
Thatiane Tamyris Kuczera Pereira  
Laís Pastre Dill  
Daniel da Conceição Aroucha Filho  
Marcelo Luiz de Carvalho Ribeiro  
Arley de Paula Mar  
Pedro José dos Santos Junior

**DOI 10.22533/at.ed.8922110037**

**CAPÍTULO 8.....97**

**SÍNTESE E AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM COMPÓSITO CERÂMICO ZIRCÔNIA E ALUMINA PARA APLICAÇÃO EM PRÓTESE CRANIOMAXILOFACIAL**

José Victor Passos Santiago  
Viviane Silva Gomide

**DOI 10.22533/at.ed.8922110038**

**CAPÍTULO 9.....108**

**SUITABILITY OF INTERNAL TANK COATINGS FOR AROMATIC HYDROCARBONS STORAGE**

Ulysses Ramos  
Aldo Ramos Santos  
Joaquim Pereira Quintela  
Carlos Rene Klotz Rabello  
Cleber Gonçalves Ferreira  
Emmanuelle Sá Freitas

**DOI 10.22533/at.ed.8922110039**

**CAPÍTULO 10.....120**

**DISEÑO DE UN FALDÓN ESTRUCTURAL CIRCULAR DE APOYO PARA UN SILO METÁLICO CON CAPACIDAD DE ALMACENAR 300 M<sup>3</sup> DE CLINKER**

Luis Orlando Cotaquispe Zevallos

**DOI 10.22533/at.ed.89221100310**

**CAPÍTULO 11.....136**

**DETERMINAÇÃO DE DESCARGAS DE LODO DE REATORES UASB COM PÓS-TRATAMENTO AERADO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS DO EFLUENTE**

Jane Mary Targino Moreira  
Ruam Magalhães da Silva  
Renata Carlos Freire

**DOI 10.22533/at.ed.89221100311**

**CAPÍTULO 12..... 147**

**AVALIAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL ISOLANTE OBTIDO DE UMA NOVA FONTE DE MATÉRIA-PRIMA: AS MICROALGAS**

Helena Maria Wilhelm

Giorgi Dal Pont

Claudio Aparecido Galdeano

Eduardo João de Palma

Luiz A. Ravaglia

**DOI 10.22533/at.ed.89221100312**

**CAPÍTULO 13..... 158**

**ANÁLISE ESTRUTURAL DO COMPORTAMENTO SÍSMICO DE BARRAGENS DE REJEITO**

Antonio Nilson Zamunér Filho

Gabriel Gomes Silva

Wellington Andrade da Silva

**DOI 10.22533/at.ed.89221100313**

**CAPÍTULO 14..... 171**

**ANÁLISE DE TENSÃO E COMPARAÇÃO DE PROCESSO DE FABRICAÇÃO EM ROD END**

Jói da Silva Theis

Luiz Carlos Gertz

André Cervieri

Antonio Flavio Aires Rodrigues

Gustavo Pizarro Meneghello

**DOI 10.22533/at.ed.89221100314**

**CAPÍTULO 15..... 179**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE TRATAMENTO TÉRMICO NO DESEMPENHO FOTOCATALÍTICO DE FIBRAS DE TiO<sub>2</sub>**

Luana Góes Soares da Silva

Annelise Kopp Alves

**DOI 10.22533/at.ed.89221100315**

**CAPÍTULO 16..... 189**

**EFEITOS DA PIRÓLISE SUAVE EM PELLETS DE *Pinus***

Nathalia Heloisa Dullius

Anderson Rodrigo Heydt

Adriana Ferla de Oliveira

**DOI 10.22533/at.ed.89221100316**

**CAPÍTULO 17..... 197**

**ESTUDO DE SISTEMAS ISOLANTES DE REFERÊNCIA USADOS NA DETERMINAÇÃO DA CLASSE TÉRMICA DE NOVOS SISTEMAS ISOLANTES SEGUNDO A NORMA IEEE C57.100**

Helena Maria Wilhelm

Paulo Oliveira Fernandes

Leandro Gonçalves Feitosa  
Geovana Carolina dos Santos  
Laís Pastre Dill  
Leonardo Galhardo  
Richard Marek

**DOI 10.22533/at.ed.89221100317**

**CAPÍTULO 18.....209**

**DESENVOLVIMENTO DE MADEIRA PLÁSTICA: COMPÓSITOS HÍBRIDOS  
POLIPROPILENO/PÓ DE MADEIRA/FIBRA NATURAL**

Terezinha Jocelen Masson  
Leila Figueiredo de Miranda  
Antonio Hotêncio Munhoz Junior

**DOI 10.22533/at.ed.89221100318**

**CAPÍTULO 19.....220**

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE EXTRATO DE LIGNINA OBTIDO A  
PARTIR DA HIDRÓLISE ALCALINA DA CASCA DE CAFÉ**

Beatriz Leite  
Daniel Vieira Mendes  
Matheus de Souza Santos  
Thiago Wilker Souza do Carmo  
Renata Carolina Zanetti Lofrano  
Boutros Sarrouh

**DOI 10.22533/at.ed.89221100319**

**CAPÍTULO 20.....233**

**ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL COM PROFESSORES E  
ALUNOS, NA ZONA RURAL DO MUNICÍPIO BREU BRANCO-PA**

Beatriz Souza da Silveira  
Enayle Maria de Freitas Silva  
Marcelo Melo dos Santos

**DOI 10.22533/at.ed.89221100320**

**CAPÍTULO 21.....245**

**O BISCOITO ARTESANAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA E O SEU POTENCIAL PARA  
REGISTRO COMO UMA INDICAÇÃO GEOGRÁFICA**

Valdir Silva da Conceição  
Dayana Ferraz Silva  
Angela Machado Rocha  
Marcelo Santana Silva

**DOI 10.22533/at.ed.89221100321**

**CAPÍTULO 22.....259**

**EXTENSÃO INTERDISCIPLINAR NAS PRÁTICAS DE CUIDADOS – CENOPOESIA E  
AQUARELA NA SAÚDE MENTAL**

Midiã Kaddja Nunes de Souza

Maria Aridenise Macena Fontenelle

**DOI 10.22533/at.ed.89221100322**

<b>SOBRE OS ORGANIZADORES .....</b>	<b>273</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO.....</b>	<b>274</b>

## SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLEXÃO DE VIGAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO ARMADO

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 06/01/2021

### Afonso Henrique de Campos Rodrigues

Universidade Federal de Mato Grosso  
Instituto de Ciências Exatas e da Terra  
<https://orcid.org/0000-0002-3977-8982>.

### Marco Donisete de Campos

Universidade Federal de Mato Grosso  
Instituto de Ciências Exatas e da Terra  
Barra do Garças - MT  
<https://orcid.org/0000-0003-4365-0129>

**RESUMO:** A simulação computacional é uma ferramenta eficiente capaz de reduzir os gastos e o tempo de execução no desenvolvimento e realização de ensaios na Engenharia. Dessa forma, neste trabalho utilizando o *software* ANSYS® a tensão normal e a deformação total sob a aplicação da força de ruptura numa viga cilíndrica de concreto armado foram avaliadas. A validação foi realizada comparando-se os resultados numéricos com a solução analítica e, como uso do *software* ANSYS®, pode-se obter resultados realísticos e confiáveis para o caso da viga cilíndrica de concreto simples. Simulou-se, também, a aplicação da força de ruptura em vigas cilíndricas variando-se a sua resistência característica à compressão do concreto de 15 MPa até 30 MPa e, conseqüentemente, variando-se, também, as características manifestadas na viga em análise. Os resultados de quatro aplicações foram apresentados e discutidos para

testar a eficiência da metodologia.

**PALAVRAS-CHAVE:** ANSYS. Viga cilíndrica. Concreto armado. Método numérico.

### NUMERICAL SIMULATION OF BENDING OF THE CYLINDRICAL REINFORCED CONCRETE BEAMS

**ABSTRACT:** Computer simulation is an efficient tool capable of reducing costs and runtime in the development and performance of tests in Engineering. Thus, in this work using the ANSYS™ software the normal strain and the total deformation under the application of the breaking force in a cylindrical beam were evaluated. The validation was performed by comparing the numerical results with the analytical solution and, using the ANSYS™ software, it is possible to obtain realistic and reliable results for the case of the simple concrete cylindrical beam. It was also simulated the application of the breaking force in cylindrical beams, varying its characteristic compressive strength of the concrete from 15 MPa to 30 MPa and, consequently, also varying the characteristics manifested in the beam in analyze. The results of four applications were presented and discussed to test the efficiency of the methodology.

**KEYWORDS:** ANSYS. Cylindrical beam. Reinforced Concrete. Computational simulation.

## 1 | INTRODUÇÃO

Devido a gama de aplicabilidade, uma situação de interesse na Engenharia é o estudo comportamento da deflexão de vigas. De modo particular, uma vez que as vigas de concreto

armado são basicamente constituídas por concreto simples e aço, materiais esses que se deformam quando solicitados por carregamento externo, a análise dessas deflexões se torna possível usando diferentes técnicas numéricas e experimentais. Nesse sentido, utilizando o *software* ANSYS®, Drienovská e Tvrda (2017) analisaram a deformação temporal de uma viga de concreto armado bi apoiada sob uma força aplicada no meio do vão, considerando o material como sendo viscoelástico. Analisaram apenas a deflexão devido à força que atua no centro da peça e, devido à análise da fluência da viga ter sido executada em um curto período, as deformações obtidas foram pequenas no decorrer de um ano. Já Vican e Janik (2014) compararam resistência suportada pela viga-pilar feita de aço usando experimentos de laboratório e simulação numérica: utilizaram quatro peças para o ensaio com carregamentos diferentes, sendo alguns carregamentos gerando excentricidades no componente e cargas de ruptura aplicadas nos corpos de prova. Notaram que na peça com compressão axial centrada, ocorreu a ruptura na região intermediária da peça e, nas peças com excentricidades, ocorreu outro tipo de colapso ocasionado pelo momento criado pelas forças axiais excêntricas. Utilizando o *software* ANSYS® *Workbench* para a análise numérica, as peças foram modeladas, incluindo as suas imperfeições geométricas e obtidas as forças de ruptura satisfatórias no *software*, que se diferenciaram no máximo em 4,1% das forças obtidas no método experimental. Também, Muliterno e Pravia (2016), utilizando o Método dos Elementos Finitos, validaram um modelo de uma viga à flexão comparando os resultados numéricos com os experimentais. Através do *software* ANSYS®, modelaram uma viga bi apoiada de concreto armado com uma carga de ruptura concentrada no meio do vão. O concreto e o aço foram modelados de forma distinta, cada qual com os seus respectivos coeficientes e, após, agrupados em uma só peça. Através do ensaio experimental realizado, foi contabilizado uma carga de ruptura de 22 kN. Aplicando essa mesma carga de ruptura na simulação computacional, obtiveram uma diferença de 0,029 mm da flecha no vão central em comparação com o ensaio experimental, correspondendo a uma diferença 0,78% entre os resultados.

Dessa forma, neste trabalho a flexão de viga cilíndrica de concreto simples será analisada numericamente através do *software* ANSYS®, fazendo a inserção das propriedades do material, sua modelagem e a discretização da viga cilíndrica e, ainda, a aplicação das condições de contorno, como o carregamento e as vinculações nos apoios.

## 2 | METODOLOGIA COMPUTACIONAL

A plataforma *Workbench* do *software* ANSYS®, a qual se baseia no Método dos Elementos Finitos, foi utilizada para resolução do problema da flexão de viga cilíndrica de concreto. A seguir, a metodologia computacional para a análise será apresentada.

## 2.1 Procedimento computacional

Na plataforma *Workbench*, para a execução da simulação do ensaio de flexão da viga, foram implementadas as seguintes etapas: especificação do material, modelagem da peça, *discretização* da malha e aplicação das condições de contorno. Em se tratando de uma viga cilíndrica e, portanto, um sistema estrutural estático, seleciona-se a opção **Static Structural**. Tendo sido escolhido o tipo de análise do sistema, as próximas etapas a serem realizadas para a representação do problema físico proposto e sua consequente resolução são **Engineering Data, Geometry, Model, Setup, Solution, Results**.

## 2.2 Especificação do material

Nesta etapa, selecionou-se a opção **Engineering Data**, para a especificação do material a ser utilizado e, a seguir, inseriu-se o tipo do material – para o nosso estudo, o concreto. A seguir, selecionou-se a opção **Linear Elastic** e, depois, **Isotropic Elasticity**, para a caracterização do concreto como um material isotrópico, elástico e homogêneo. Depois, quatro coeficientes, combinados de dois a dois, podiam ser escolhidos: **Young's Modulus, Poisson's Ratio, Bulk Modulus** e **Shear Modulus**. Selecionando o **Young's Modulus** e **Poisson's Ratio**, inseriu-se o *Módulo de Young* (ou *Módulo de Elasticidade*), o qual pode variar de acordo com o  $f_{ck}$  do concreto, sendo que, para o ensaio de flexão, inseriu-se o *Módulo de Deformação Secante*. O coeficiente de Poisson adotado para o concreto segundo a NBR 6118:2014 foi igual a 0,2.

## 2.3 Modelagem da peça

Tendo sido especificado o material, selecionou-se a opção **Geometry** e, a seguir, na aba **Space Claim** ocorreu o dimensionamento tridimensional da peça. Por se tratar de uma viga cilíndrica, selecionou-se a opção **Circle** e escolheu-se o eixo cartesiano *y-z* para o esboço da base da peça. Finalmente, determinou-se o diâmetro em milímetros.

A seguir, escolheu-se a opção **Fill** e selecionou-se o círculo para preenchê-lo. Preenchido o esboço, inseriu-se o tamanho do vão da viga. Dessa forma, determinou-se a modelagem da peça de forma tridimensional (Fig. 1).

## 2.4 Discretização

Tendo sido modelada a peça, selecionou-se a opção **Model**, na qual estão todos os outros passos a serem executados. Inicialmente, selecionou-se a opção **Mesh**, em **Details of Mesh**. Selecionada a opção **Mesh**, clicou-se na opção **Update** e foi realizada a discretização da malha (Fig. 2).

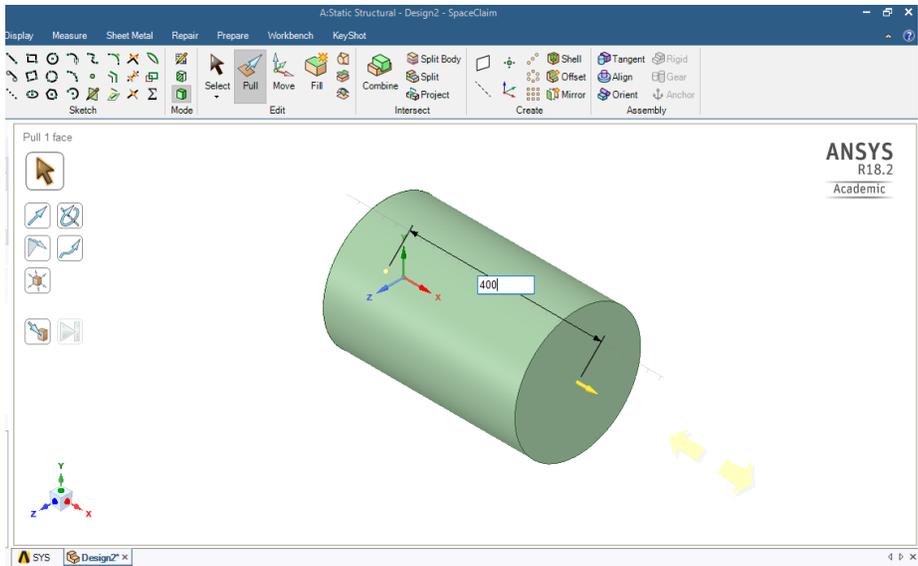


Figura 1 - Dimensionamento do vão

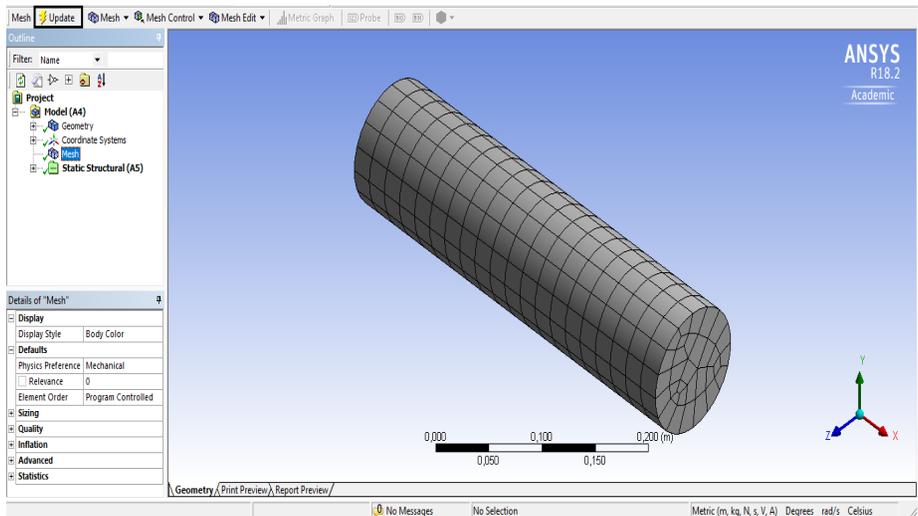


Figura 2 - Malha discretizada

## 2.5 Aplicação das condições de contorno

Tendo sido discretizada a peça, definiu-se o sistema estático estrutural. Por se tratar de um modelo cilíndrico engastam-se as duas extremidades para que, ao se aplicar a força de ruptura no meio do vão, a peça não translate. As condições de contorno foram inseridas no modelo estrutural selecionando-o item **Static Structural**. Em seguida, na opção **Insert** a

condição de contorno foi escolhida.

A fim de engastar a extremidade da peça, selecionou-se a opção **Fixed Support**, e clicando na opção **Face**, selecionou-se a face da peça na opção **Geometry** (Fig. 3). Deste modo efetivou-se o engaste. O processo foi repetido para a face da extremidade oposta da viga, gerando, assim, uma viga cilíndrica bi engastada.

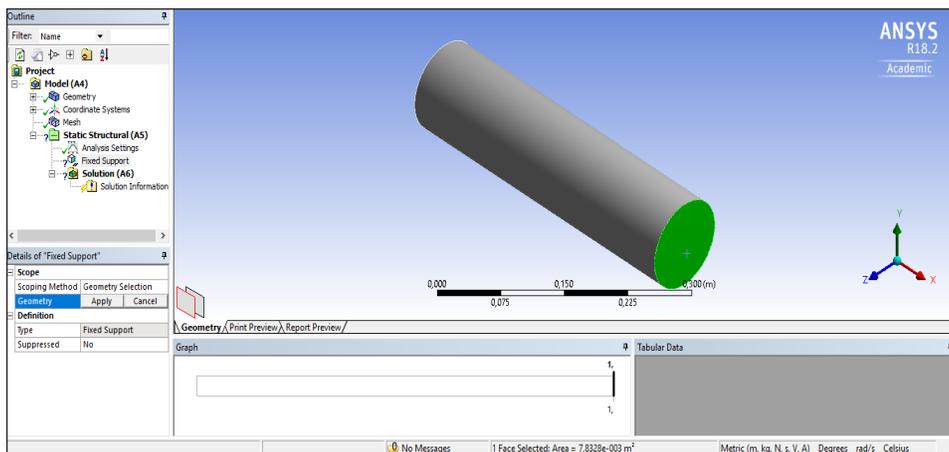


Figura 3 - Engastando a peça

Finalmente, aplicou-se a força de ruptura no vão da peça em análise. Na aba **Static Structural**, com a opção **Insert**, selecionou-se o item **Force**. Em **Define By**, selecionou-se a opção **Components** na qual foram exibidos os três eixos cartesianos para inserção da magnitude da força. Definiu-se, então, a força de ruptura com o sinal negativo no eixo *y* e selecionou-se a face no meio do vão. Dessa forma foi criado o sistema estático estrutural (Fig. 4). Pode-se notar que, na Fig. 4, a letra *A* e *B* correspondem ao engaste aplicado nas extremidades, enquanto a letra *C* no esquema estático corresponde à força de ruptura aplicada no meio do vão.

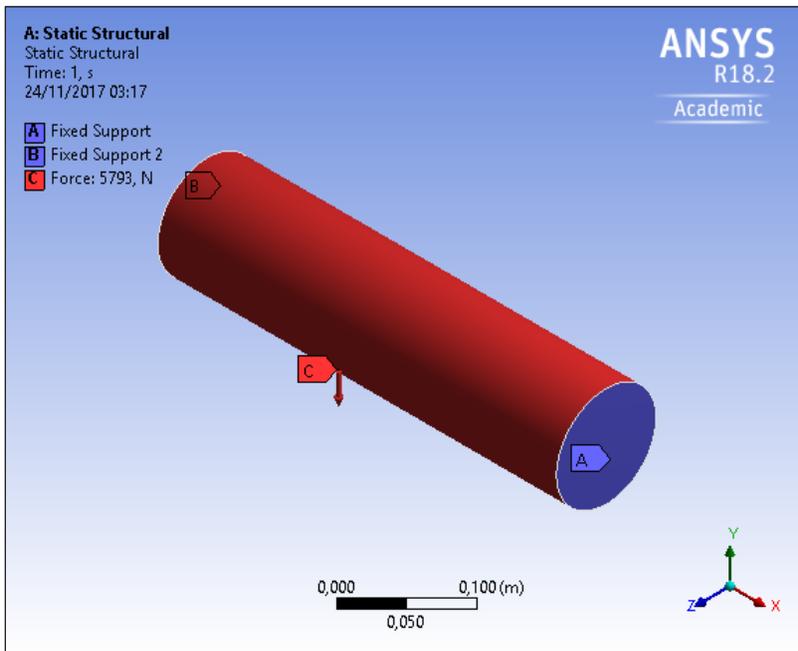


Figura 4 - Sistema estático estrutural

### 3 | RESULTADOS NUMÉRICOS

Nesta seção serão apresentadas algumas aplicações da simulação numérica de flexão de vigas de geometria cilíndrica.

Inicialmente, para efeito de validação da metodologia, foi analisado um caso de viga de aço submetida à tração axial, sendo que os resultados obtidos para a deformação total, a deformação específica da peça e a tensão normal no eixo x foram comparados com os analíticos obtidos utilizando-se os critérios de dimensionamento segundo a NBR 8800:2008.

A seguir, variando-se a resistência característica à compressão do concreto de 15 MPa, 20 MPa, 25 MPa até 30 MPa, simulou-se a aplicação da força de ruptura em vigas cilíndricas para se analisar a relação entre a resistência à compressão do concreto para o rompimento da peça e a sua deformação.

#### Aplicação 1: Viga de aço submetida à tração axial

Nesta aplicação, para efeitos de validação da metodologia, foi utilizada uma viga de aço de perfil W (tipo I) 310x21 (PFEIL e PFEIL, 2009), com comprimento de 6 m. Os coeficientes adotados tanto para a análise analítica quanto para a modelagem computacional foram extraídos da NBR 8800:2008, sendo os valores adotados para o módulo de elasticidade do aço e para o coeficiente de Poisson iguais a  $E = 200$  GPa

e  $v = 0,3$ , respectivamente. Foi utilizado o aço-carbono MR-250 que possui uma tensão de escoamento  $f_y = 250$  MPa e uma tensão de ruptura  $f_u = 400$  MPa segundo a NBR 8800:2008. Como a viga não contém furos em sua seção, analisou-se somente duas resistências estabelecidas pela NBR 8800:2008.

Temos que a primeira resistência permite analisar a resistência do escoamento da seção bruta (Eq. 1) enquanto a segunda, a ruptura da seção líquida (Eq. 2):

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (1)$$

no qual,  $N_{t,Rd}$  é a resistência do escoamento da seção bruta, em N;  $A_g$  é a área bruta da peça em, m<sup>2</sup>;  $f_y$  é a tensão de escoamento do aço, em MPa;  $\gamma_{a1}$  é o coeficiente de segurança,

e

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (2)$$

no qual,  $N_{t,Rd}$  é a resistência de ruptura da seção líquida, em N;  $A_e$  é a área efetiva da peça em, m<sup>2</sup>;  $f_u$  é a tensão de ruptura do aço, em MPa;  $\gamma_{a2}$  é o coeficiente de segurança.

Assim, utilizando-se o menor valor encontrado obteve-se a força limite suportada pela viga, considerando-se em seu Estado-Limite Último (ELU). Avaliando-se o aço em seu regime elástico linear, utilizou-se a *lei de Hooke*, segundo a qual, o comportamento elástico da peça é dado por:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (3)$$

em que,  $E$  é o módulo de elasticidade, em GPa;  $\varepsilon$  é a deformação específica.

Dessa forma, determinou-se a deformação específica do material e, em seguida, multiplicando-se pelo comprimento da viga permitiu encontrar a deformação máxima da peça. Para o tratamento computacional, modelou-se a peça de forma criteriosa e, após, inseriu-se os coeficientes, assim como as suas condições de contorno, engastando uma extremidade da viga e, na extremidade oposta, aplicou-se a força última do regime elástico (Fig. 5-a).

Dessa forma, foi solucionado o problema físico e foram obtidos a deformação total da peça (Fig. 5b), a deformação específica (Fig. 5c) e a tensão normal no eixo  $x$  (Fig. 5d). Pode-se notar que, na Fig. 5, há um matiz de cores gradativas: quanto mais se afasta da extremidade de aplicação do engaste, maior será a deformação da peça, ocorrendo, conseqüentemente, a deformação máxima no ponto de aplicação da força. Já na Fig. 5 é evidenciada a predominância de uma cor, devido a uma alta tensão resistente do aço, caracterizando, assim, a deformação específica do material e a tensão normal no eixo  $x$ .

Para se realizar a validação foram obtidos os resultados analíticos para a deformação

total, a deformação específica da peça e a tensão normal no eixo x, utilizando-se os critérios de dimensionamento segundo a NBR 8800:2008.

Para a comparação dos resultados utilizou-se o erro relativo:

$$\text{erro relativo} = \frac{\text{solução numérica} - \text{solução analítica}}{\text{solução numérica}} \quad (4)$$

A Tabela 1 apresenta a comparação dos resultados analíticos e numéricos, bem como o erro associado. Pode-se notar que através dos resultados apresentados, obteve-se uma boa aproximação entre os valores analíticos e numéricos. Como a diferença associada aos resultados foi pequena, a simulação computacional é uma opção promissora para solucionar problemas de flexão de vigas de geometria cilíndrica. Apresentando, assim, resultados compatíveis.

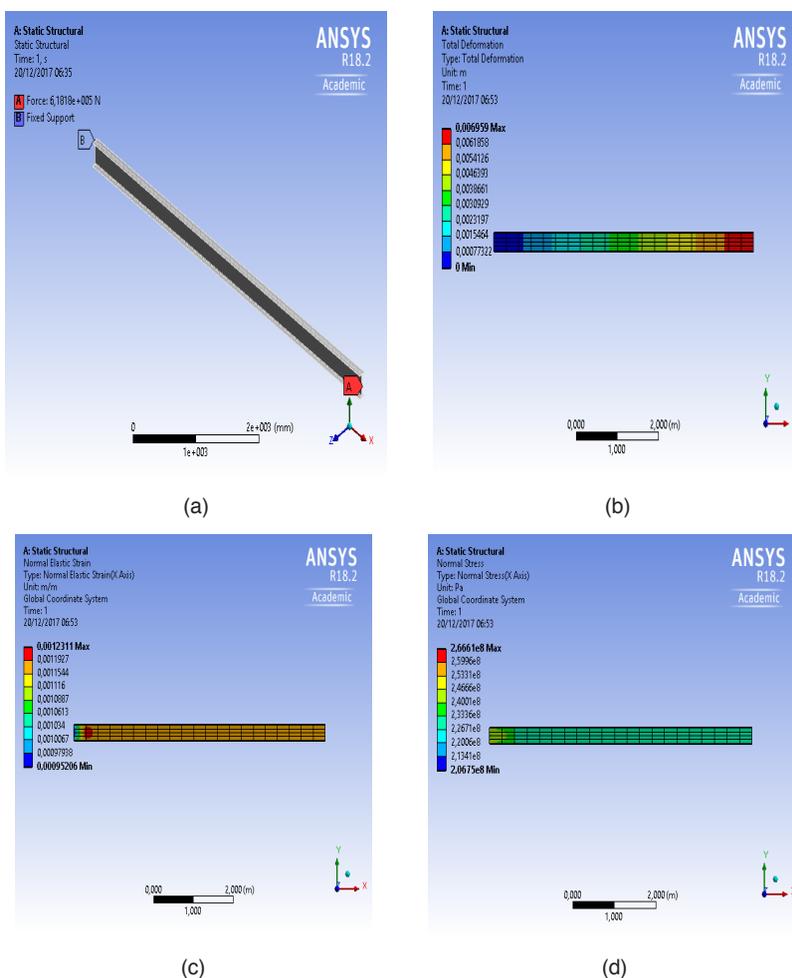


Figura 5 – (a) Sistema estático da peça, (b) deformação total, (c) deformação específica e (d) tensão normal no eixo x

	Solução Analítica	Solução Numérica	Erro (%)
<b>Deformação total (mm)</b>	6,818	6,959	2,026
<b>Tensão normal no eixo x (MPa)</b>	227,272	233,36	2,608
<b>Deformação específica da peça</b>	1,136E-3	1,192E-3	4,697

Tabela 1 - Comparações dos resultados

## Aplicação 2: Corpo de prova com $f_{ck}=15$ MPa, $f_{ck}=20$ MPa, $f_{ck}=25$ MPa e $f_{ck}=30$ MPa

Nesta aplicação, foram avaliadas a deformação máxima e a tensão normal no eixo x. A deformação máxima é uma característica importante para a análise pois, de acordo com a NBR 6118:2014, as estruturas devem apresentar uma boa aparência para que estabeleça uma segurança e um conforto ao usuário. Já a tensão normal no eixo x também deve ser analisada, pois a tensão de resistência deve ser maior que a tensão solicitante na peça para que não ocorram deformações exageradas ou fissuras, podendo levar ao colapso. Portanto, aplicada uma força  $F$  à peça, será quantificada a tensão máxima que cada concreto com o seu diferente  $f_{ck}$  poderá vir a suportar.

A simulação do ensaio de flexão de vigas de geometria cilíndrica foi realizada aplicando o *software* ANSYS®. Primeiramente, definiu-se o tipo de material – nesse caso o concreto – o qual se constitui como sendo um material isotrópico, elástico e homogêneo: isotrópico porque, independente da direção, as propriedades mecânicas não se alteram; elástico, pois, quando o carregamento não exceder o seu limite de proporcionalidade, retirando-se, a estrutura voltará ao seu estado natural; homogêneo, devido todos os seus pontos possuírem as mesmas propriedades mecânicas.

Definido isso, inseriu-se o *Módulo de Young* (ou *Módulo de Elasticidade*) no *software* ANSYS®. Segundo a NBR 6118:2014, quando não se executam os ensaios, pode-se estimar os valores dos módulos de elasticidades através das formulações para  $f_{ck}$  variando de 20 MPa a 50 MPa, sendo o coeficiente  $\alpha_E$  o tipo de agregado graúdo que será usado para a elaboração do concreto:

$$E_{ci} = \alpha_E 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (5)$$

sendo  $\alpha_E = 1,2$  para basalto e diabásio,  $\alpha_E = 1,0$  para granito e gnaisse,  $\alpha_E = 0,9$  para calcário;  $\alpha_E = 0,7$  para arenito

O módulo de elasticidade secante ( $E_{cs}$ ) pode ser estimado pela relação com o módulo de elasticidade tangente inicial ( $E_{ci}$ ) a seguir, sendo o coeficiente  $\alpha_i$  variando de acordo com o  $f_{ck}$  do concreto:

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci} \quad (6)$$

no qual

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (7)$$

Neste trabalho, foi utilizado o agregado graúdo granito gnaisse. De acordo com os diferentes  $f_{ck}$  do concreto, obteve-se os seguintes módulos de elasticidades apresentados na Tabela 2:

$f_{ck}$ (MPa)	$E_{ci}$ (Mpa)	$E_{cs}$ (MPa)
15	21688,71	18164,29
20	25043,96	21287,37
25	28000,00	24150,00
30	30672,46	26838,41

Tabela 2 - Módulos de Elasticidades

Inserindo-se o módulo de elasticidade no *software* ANSYS®, considerado secante para esse caso por se tratar de um ensaio de flexão, adicionou-se também o coeficiente de Poisson do material, o qual, de acordo com a NBR 6118:2014, é de 0,2 para o concreto. Ainda, conforme com a mesma norma, a resistência à tração média tem uma relação direta com o  $f_{ck}$  apresentado no concreto. Essa relação satisfaz à Eq. 8 a seguir, com o  $f_{ck}$  do concreto variando até 50 MPa:

$$f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{2/3} \quad (8)$$

com  $f_{ctm}$  e  $f_{ck}$ , em MPa.

Como a viga cilíndrica se encontra em flexão pura, e pretendeu-se encontrar a carga de ruptura da peça, utilizou-se a seguinte relação:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (9)$$

na qual  $\sigma$  é a tensão normal máxima em Pa,  $M$  é o momento máximo, em Nm;  $c$  é a distância da linha neutra até a fibra mais tracionada, em m e  $I$  é o momento de inércia da peça, em m<sup>4</sup>.

Com as relações aplicadas e os resultados obtidos, obteve-se a força de ruptura  $F$  (Tabela 3), a qual varia de acordo com o  $f_{ck}$  de cada peça elaborada. Aplicada a carga, o corpo de prova entra em deformação máxima atingindo a ruína, que é o estado no qual a

simulação computacional do ensaio de flexão de vigas objetiva atingir para o estudo das deformações máximas e tensão normal existente.

Tendo sido definidos estes parâmetros e, com o sistema estático estabelecido, se utilizou uma viga bi engastada cilíndrica com vão de 40 cm, diâmetro da base de 10 cm e com a força de ruptura aplicada no meio do vão.

$f_{ck}$ (MPa)	$F$ (kN)
15	1,791
20	2,170
25	2,518
30	2,843

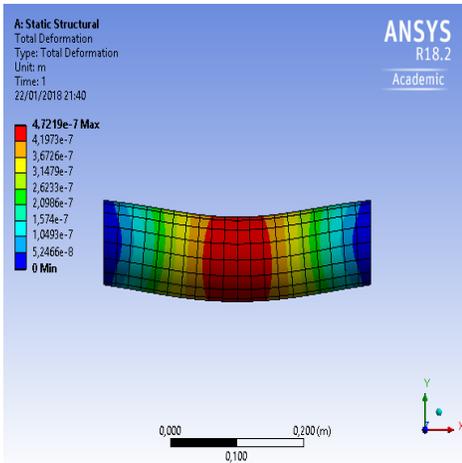
Tabela 3 - Força de ruptura

### 1º Caso: Resultados numéricos para o corpo de prova com $f_{ck}$ de 15 MPa

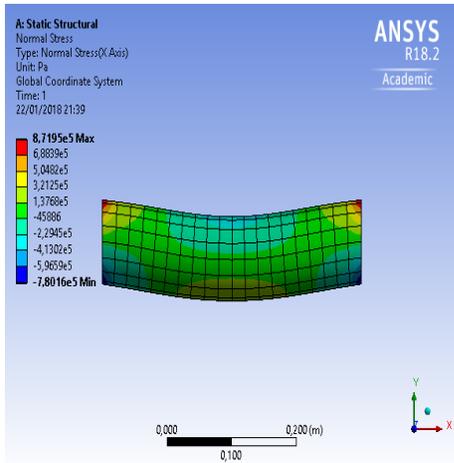
Selecionando-se a opção **Total Deformation** do software ANSYS® determinou-se a deformação total em metros da peça ocasionada pela aplicação da força de ruptura (Fig. 6a). Pode-se notar que o deslocamento máximo ocorreu no meio do vão, distribuído segundo o matiz de cores que quantifica os resultados por meio da barra vertical. Com a opção **Normal Stress** selecionada, obteve-se a tensão normal em *Pascal* no eixo x (Fig. 6b). Pode-se verificar que, segundo as distribuições dos matizes de cores, na face superior do vão no qual a força foi aplicada tem-se as forças de compressão preponderantes enquanto na face inferior aparecem as forças de tração. Portanto, verificou-se a tensão máxima de tração no meio do vão na parte inferior da peça.

### 2º Caso: Resultados numéricos para o corpo de prova com $f_{ck}$ de 20 MPa

Novamente, utilizando-se a opção **Total Deformation**, pode-se notar que, de acordo com a Fig. 7a, o deslocamento máximo ocorreu no meio do vão, sendo distribuído pelo matiz de cores. Do mesmo modo, com a opção **Normal Stress** selecionada, tem-se a tensão normal em *Pascal* no eixo x (Fig. 7b). Pode-se verificar que, segundo as distribuições dos matizes de cores, as forças de compressão preponderantes na face superior do vão no qual a força foi aplicada, e, já na face inferior, as forças de tração. Portanto, verificou-se a tensão máxima de tração no meio do vão na parte inferior da peça.

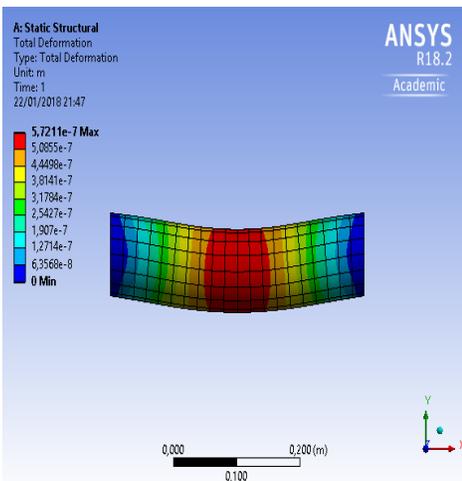


(a)

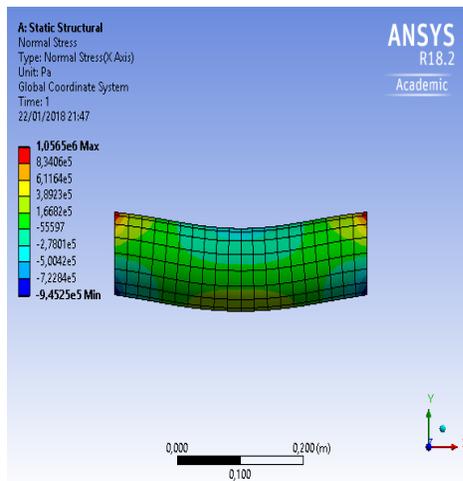


(b)

Figura 6 – (a) Deformação total e (b) tensão normal no eixo x da peça com  $f_{ck} = 15$  MPa.



(a)



(b)

Figura 7 – (a) Deformação total e (b) tensão normal no eixo x da peça com  $f_{ck} = 20$  MPa.

### 3º Caso: Resultados numéricos para o corpo de prova com $f_{ck}$ de 25 MPa

Como nos casos anteriores, utilizou-se a opção **Total Deformation** para obter a deformação total em metros da peça ocasionada pela aplicação da força de ruptura (Fig. 8a). O deslocamento máximo ocorreu no meio do vão, sendo distribuído pelo matiz de cores o qual quantifica os resultados por meio da barra vertical. Do mesmo modo, com a opção **Normal Stress** selecionada, tem-se a tensão normal em *Pascal* no eixo x (Fig. 8b). Pode-se verificar que, segundo as distribuições dos matizes de cores, no vão no qual a

força foi aplicada, na face superior tem-se as forças de compressão preponderantes e, já na face inferior, as forças de tração. Como ocorreu nos casos anteriores, a tensão máxima de tração ocorreu no meio do vão na parte inferior da peça.

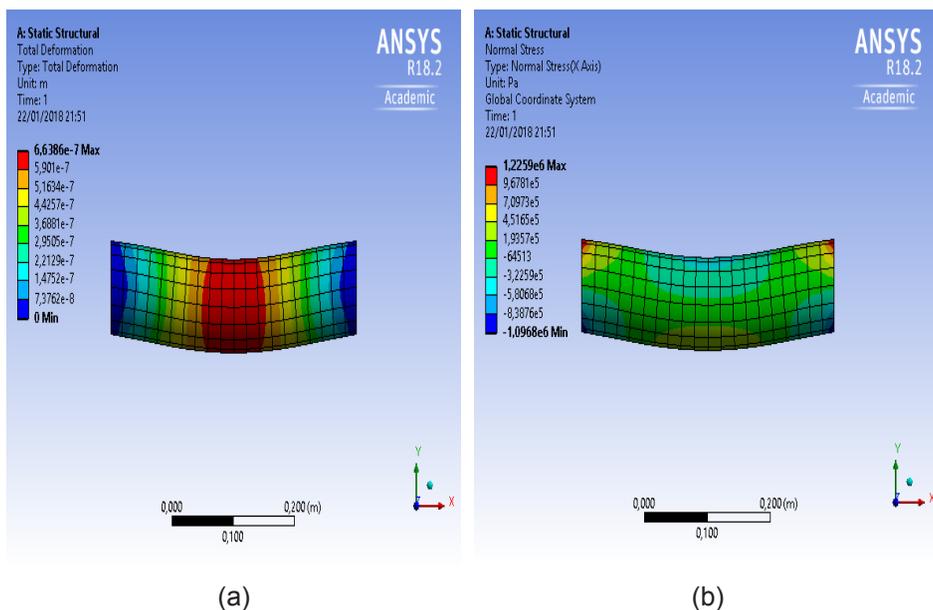
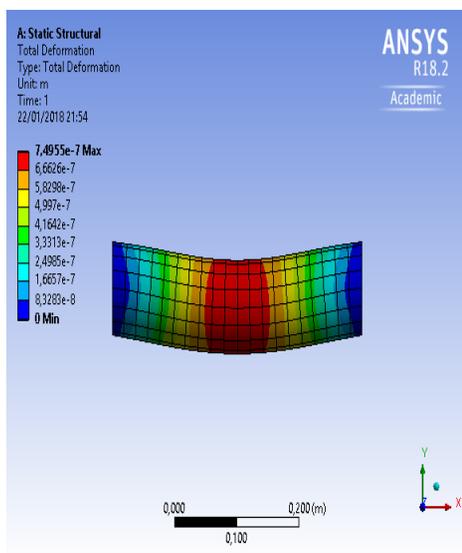


Figura 8 – (a) Deformação total e (b) tensão normal no eixo x da peça com  $f_{ck}=25$  MPa.

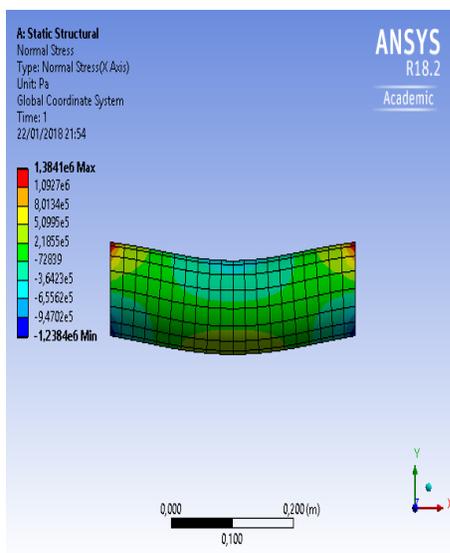
#### 4º Caso: Resultados numéricos para o corpo de prova com $f_{ck}$ de 30 MPa

A Figura 9a ilustra a deformação total em metros da peça ocasionada pela aplicação da força de ruptura utilizando-se novamente a função **Total Deformation**.

Da mesma forma, com a opção **Normal Stress** selecionada, tem-se a tensão normal em *Pascal* no eixo x (Fig. 9b). Pode-se verificar que, segundo as distribuições dos matizes de cores, no vão no qual a força foi aplicada, na face superior, tem-se as forças de compressão preponderantes e, já na face inferior, as forças de tração. Portanto, a tensão máxima de tração ocorreu no meio do vão na parte inferior da peça.



(a)



(b)

Figura 9 – (a) Deformação total e (b) tensão normal no eixo x da peça com  $f_{ck}=30$  MPa.

Assim, a simulação numérica do ensaio de flexão de vigas de geometria cilíndrica forneceu os resultados para os deslocamentos máximos no vão no qual a força de ruptura da peça foi aplicada (Tabela 4).

$f_{ck}$ (MPa)	Deformação máxima central (mm)
15	4,7219E-4
20	5,7211E-4
25	6,6386E-4
30	7,4955E-4

Tabela 4 - Deslocamento máximo no vão

Pode-se notar, através dos valores obtidos, que a deformação máxima da peça variou diretamente proporcional com o valor do  $f_{ck}$  do concreto. A resistência característica à compressão do concreto assegura que para alcançar o rompimento da peça foi preciso uma maior deformação, além de legitimar as propriedades elásticas e isotrópicas do concreto.

Verificou-se que a tensão normal de tração máxima aumentou de acordo com o  $f_{ck}$ . Ao giramos tridimensionalmente a peça para verificar o matiz de cores na parte inferior

obteve-se os dados descritos na Tabela 5 a seguir.

$f_{ck}$ (MPa)	Tensão Normal de Tração (MPa)
15	0,32125
20	0,38923
25	0,45165
30	0,50995

Tabela 5 - Tensão Normal de Tração no Meio do Vão

Esses dados ratificam novamente as propriedades iniciais do concreto de que com o aumento do  $f_{ck}$  ocorre um aumento na tensão de tração na parte central inferior da peça, por se tratar de um material elástico linear e isotrópico. A isotropia, linearidade e elasticidade do concreto foram constatadas com maior notoriedade pela Figura 10.

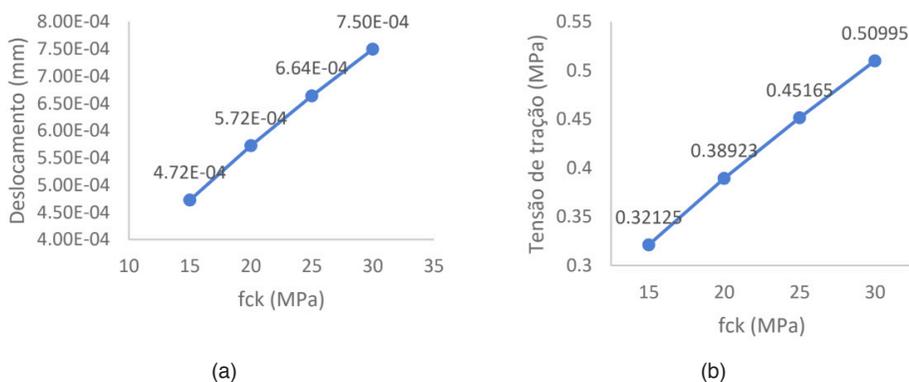


Figura 10 - (a) Taxa de deslocamento da deformação máxima central e (b) Tensão normal de tração

## 4 | CONCLUSÕES

Neste trabalho utilizou-se o *software* ANSYS® para a simulação numérica de flexão de vigas cilíndricas, objetivando um estudo das propriedades da peça. Para tanto, modelou-se a viga, as constantes do material foram inseridas e as condições de contorno foram aplicadas formando, assim, o sistema estático desejado para o ensaio de flexão. Para a análise das características da peça, obteve-se a tensão normal de tração no meio do vão e a deformação máxima.

Foi realizada, inicialmente, a validação computacional usando um caso de viga de

aço submetida à tração axial, sendo que os resultados obtidos para a deformação total, a deformação específica da peça e a tensão normal no eixo  $x$  foram comparados com os analíticos obtidos utilizando-se os critérios de dimensionamento segundo a NBR 8800:2008 e apresentaram boa concordância.

A seguir, simulou-se a aplicação da força de ruptura em vigas cilíndricas para se analisar a relação entre a resistência à compressão do concreto para o rompimento da peça e a sua deformação, considerando a resistência característica à compressão do concreto de 15 MPa, 20 MPa, 25 MPa até 30 MPa. Os resultados corroboraram para o fato de que por se tratar de um material elástico linear e isotrópico, com o aumento do  $f_{ck}$  ocorre um aumento na tensão de tração na parte central inferior da peça de concreto.

Portanto, a simulação numérica de flexão de vigas cilíndricas através do software ANSYS® considerando outras geometrias de elementos estruturais pode ser realizada, em busca de outros resultados de interesse.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

DRIENOVSKÁ, J.; TVRDÁ, K. Deflection of a Beam Considering the Creep. **Procedia Engineering**, p. 459-463, 2017.

MULITERNO, B. K.; PRAVIA, Z. M. C. Modelos para Vigas de Concreto Armado. **Téchne**, n. 231, p. 1-16, 2016.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008**. 8a ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2009.

VICAN, J.; JANIK, P. Experimental and Numerical Analysis of Beam-column Resistance. **Procedia Engineering**, p. 280-285, 2014.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Alumina 97, 99, 100, 101, 102, 105, 106, 107

Ansys 3, 17, 18, 120, 132, 135, 176

Armazenagem de grãos 66, 67, 68, 69, 81, 82, 83

### B

Barragens de rejeito 158, 159, 164, 169, 170

Biomateriais 97, 98, 99, 106, 107

### C

Concreto 1, 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 26, 27, 31, 32, 33, 35, 39, 66, 69, 71, 75, 76, 80, 81, 82, 121, 170

Concreto armado 1, 2, 17, 18, 19, 33, 71, 76, 82

### D

Descarte de lodo 136, 137, 139

Diseño 120, 121, 123, 124, 125, 128

### E

Energia nuclear 58, 61

Ensaio de flexão de três pontos 1, 9, 16

Estabilidade 2, 99, 100, 136, 137, 147, 148, 149, 151, 153, 154, 156, 158, 159, 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 192

Estructuras 82, 120, 123, 128

Etanol 84, 85, 87, 89, 94, 95, 212, 222, 226, 231

Extensômetro 171

### F

Falhas térmicas 84, 85, 86, 87, 93

Fibra de coco babaçu 35

Flexión 120, 130, 131

Forjamento 172, 174, 178

Frequência de descarga 136, 142

### G

Gases de falha 85

## **M**

Metanol 84, 85, 87, 89, 94, 95, 224

Método numérico 2, 18

Microalgas 147, 148, 149, 156

Microfundido 172, 175, 178

## **O**

Óleo isolante 84, 85, 86, 87, 92, 147

## **P**

Pandeo 120, 134, 135

Papel kraft isolante 84, 85, 87, 198

Pó de ostra 40, 42, 44, 45, 46, 47, 49

Polipropileno 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 54, 55, 56, 57, 209, 211, 217, 218, 219

Popularização da ciência 58

Preservação ambiental 40, 42

Propriedades mecânicas 26, 35, 39, 97, 101, 102, 202, 203, 204, 211

Prótese craniomaxilofacial 97

## **R**

Reforço 35, 40, 45, 48, 56, 209, 210, 212, 219

Resistencia à compressão 35

Rigidez 45, 120, 127, 128, 153, 209, 223

Rod end 171, 172, 173, 174, 175, 178

## **S**

Silo horizontal 66, 71, 72, 75, 76

Simulação numérica 1, 18, 19, 23, 31, 32, 33, 171, 176

Sismicidade 158, 159, 162, 167, 170

Sólidos sedimentáveis 136, 138, 139, 141, 145

## **T**

Teatro científico 58, 59

Trabalhabilidade 35

## **V**

Viga cilíndrica 18, 19, 20, 22, 27

## **Z**

Zircônia 97, 100, 101, 102, 105, 107

# ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de  
Caráter Multidisciplinar

4

[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) 

# ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de  
Caráter Multidisciplinar

4

[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) 