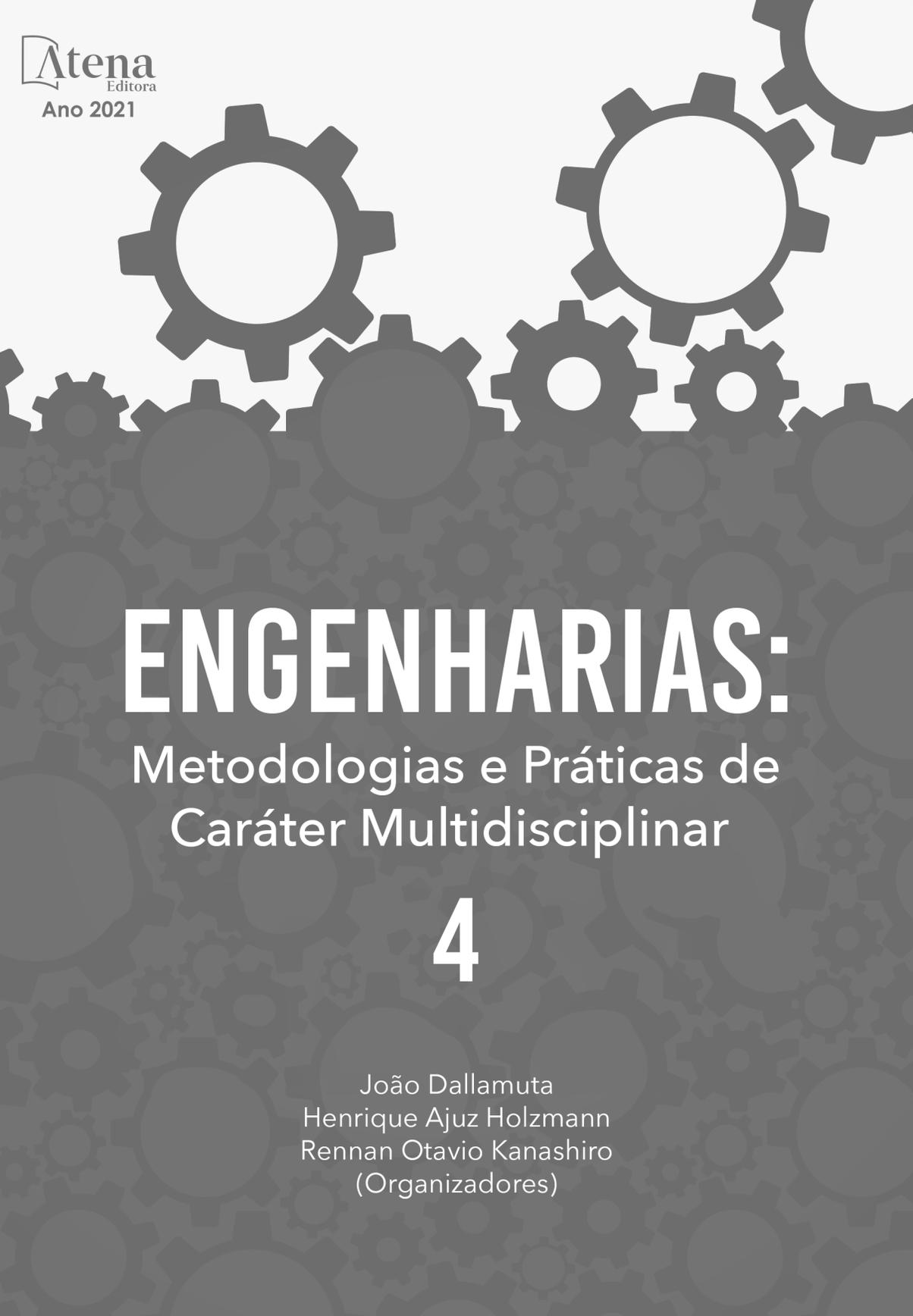


ENGENHARIAS:

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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

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

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

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

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª 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^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª 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. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª 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^ª 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^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Lilians Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª 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^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª 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^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª 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^ª 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^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª 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^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremona
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

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 M³ 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 TiO₂

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

SOBRE OS ORGANIZADORES	273
ÍNDICE REMISSIVO.....	274

CAPÍTULO 1

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO SIMPLES

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 06/01/2021

Vinícius Borges de Moura Aquino

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Instituto de Engenharia do Araguaia
Santana do Araguaia - PA
<https://orcid.org/0000-0003-3483-7506>

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 acessível e alternativa para se reduzir os custos de execução de ensaios laboratoriais na avaliação da resistência do concreto. Usando o *software Ansys®*, o objetivo deste trabalho é a avaliação da resistência do concreto analisando as tensões e os deslocamentos sofridos num ensaio de flexão de três pontos. A validação foi realizada pela comparação com resultados da literatura e, a partir, algumas aplicações foram implementadas. O uso de ferramentas numéricas mostrou-se viável para ensaios de caracterização de concreto simples.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto. Simulação Numérica. Ensaio de Flexão de Três Pontos.

COMPUTATIONAL SIMULATION OF BENDING IN BEAMS OF CONCRETE

ABSTRACT: Computer simulation is an accessible and alternative tool to reduce the costs of carrying out laboratory tests in the evaluation of concrete strength. Using the Ansys™ software, the objective of this work is to evaluate the strength of the concrete by analyzing the stresses and displacements suffered in a three-point flexural test. The validation was performed by comparison with results in the literature and, from there, some applications were implemented. The use of numerical tools proved to be viable for simple concrete characterization tests.

KEYWORDS: Concrete. Numerical Simulation. Three Point Flexural Test.

1 | INTRODUÇÃO

Por ser o material que apresenta a menor relação entre a resistência e o custo em comparação aos outros que são comercializados, o concreto é amplamente empregado na construção civil. Por isso, metodologias capazes de melhor analisar a sua resistência tem sido frequentemente desenvolvidas e divulgadas na literatura. Por exemplo, Jukic et al. (2014) apresentaram uma análise de falência de concreto armado utilizando a formulação de Método dos Elementos Finitos baseado no modelo de viga de Timoshenko, no qual aço e o concreto comportam-se com um material elastoplástico. Na procura da energia de ruptura do material, uma aplicação de seções planas do

conceito da descontinuidade interna foi realizada. Desta forma, a viga foi modelada com inúmeras camadas de aço e concreto, com comportamento independentes para sofrer os deslocamentos. A finalidade desta discretização foi o encontrar a falência da seção. Foram utilizadas aplicações numéricas para demonstrar o potencial do modelo para simular a ruptura do material. O número de camadas que a viga foi dividida não influenciou nos resultados desde que foi feita a refinamento da tensão normal à espessura das camadas. Para efeito de consideração, os efeitos de cortante foram desconsiderados na sua parte inelástica, considerando-os elásticos. Já Liu e Quek (2003) utilizou, para problemas dinâmicos, o princípio de Hamilton, um princípio variacional, que diz que de todos os históricos de tempo admissíveis de deslocamento, a solução mais precisa faz o funcional Lagrangiano um mínimo. Este deslocamento deve satisfazer as condições de compatibilidade de equações, condições de contorno essenciais ou cinemáticas e condições de tempo inicial e final. Com isso o Princípio de Hamilton autoriza assumir um conjunto de deslocamentos que satisfaçam as condições listadas acima. Isso dá liberdade de escolha ao sistema e garante também que a solução mais precisa seja governada pela forma forte do sistema de equações. Com isso, a simplicidade do princípio de Hamilton utiliza o uso de quantidades de energia escalares, o que dispensa o uso de valores vetoriais nos cálculos e também a linearidade nas equações a serem derivadas no sistema final de equações. Também Qapo et al. (2016) realizou um estudo, analítico e numérico, de vigas de concreto armado reforçadas com fibras de polímero, avaliando a previsão de aumento da resistência ao cisalhamento incorporando estas fibras ao concreto e o respectivo desvio dessa previsão utilizando o *software* DIANA®. Neste comparativo, o plano de fissuração presente na viga no momento da falha prevista pelo método numérico ficou bem próximo das fissuras presentes na viga na mesma condição de falência da peça. Também a comparação para verificar a precisão do método numérico no tocante a capacidade resistente da peça à força cortante ficou em níveis aceitáveis, variando entre 0,99 e 1,06 a razão entre os resultados numéricos e experimentais. Já Shang et al. (2015), fizeram uma análise unidimensional comparativa da viga de Euler-Bernoulli submetida às cargas dinâmicas com o uso do Método dos Elementos Finitos Generalizado (GFEM) com o acréscimo de monômios e de ordem trigonométrica e exponencial nas equações de formulação de elementos finitos. Também compararam os resultados obtidos pelo GFEM com a formulação convencional de elementos finitos para mostrar o grau de eficiência na resolução da viga de Euler-Bernoulli elástica tão como uma resolução elastoplástica dinâmica. Para esta comparação foi utilizado o *software* Ansys® para a formulação convencional de elementos finitos. Esta comparação mostrou que o GFEM possui erros relativos maiores que a formulação tradicional de elementos finitos, mas o GFEM possui uma maior estabilidade na análise de tensão e deformação na peça submetida a um carregamento dinâmico.

O objetivo deste trabalho é simular numericamente o ensaio de flexão de vigas de concreto simples utilizando o pacote *Mechanical APDL* do *software* Ansys® através da

tração atuante na peça, a tensão resistente do concreto e o deslocamento que a peça foi submetida.

2 | METODOLOGIA COMPUTACIONAL

2.1 Modelagem Computacional

No *Ansys*[®], a partir do *software Mechanical APDL*, pode-se modelar o ensaio de flexão de viga de concreto. A criação do modelo analítico no *software* segue os seguintes passos: a modelagem da viga de análise, a inserção das constantes do material, a discretização da área em elementos finitos e a inserção das condições de contorno.

No nosso caso, fez-se o ensaio de flexão de viga de concreto. A tensão de interesse é a tensão normal. Portanto, tendo em vista a hipótese das seções planas, o ensaio foi modelado em duas dimensões, não causando prejuízo à fidelidade do ensaio experimental. Para isso, ao decorrer da modelagem, impôs-se no *software Ansys*[®] a condição de tensão plana com espessura constante, dando assim a tridimensionalidade ao modelo computacional. (STOLARSKI et al., 2007)

2.1.1 Modelagem da Viga de Análise

Iniciou-se o uso do **ANSYS Main Menu** na seção **Preprocessor** e nesta seção, clicou-se em **Modeling, Create, Areas, Rectangle e By 2 Corners**. Foram inseridas as informações da seção lateral da peça, em metros, e no **WP (Working Plane)**, a primeira coordenada, a origem do sistema cartesiano, bem como as dimensões da área, comprimento e altura, em metros. Com as informações inseridas, clica-se em **OK** e, após, inclui-se as constantes do material.

2.1.2 Inserção das Constantes do Material

Retornando ao menu principal para entrada dos dados das constantes do material - no caso, o concreto - considerou-se o material como sendo estrutural, linear e isotrópico. Esta é uma boa aproximação, pois o concreto estará no Estádio I, no qual não se ultrapassa o valor de resistência característico de tração do concreto, isto é, no regime elástico linear. Além disso, o material é isotrópico, pois o mesmo ainda está no regime linear e será considerado um produto homogêneo até tal limite (CARVALHO e FIGUEREDO FILHO, 2014). Na seção **Material Props**, clica-se em **Material Models, Structural, Linear, Elastic, Isotropic**. Para o módulo de Poisson, adotou-se 0,2 conforme a NBR 6118:2014.

2.1.3 Discretização da Área da Viga em Elementos Finitos

No menu principal discretizou-se a área usando elementos finitos: clicou-se em **Element Type, Add/Edit/Delete** e selecionou-se a opção **Add**. Já na seção **Structural**

Mass escolheu-se **Solid** e **Quad 8 node 183**. Tendo sido definido o tipo do elemento, clicou-se em **Options** e, em seguida, na opção **Element behavior** e selecionou-se a opção **Plane strs w/thk**, que se trata tensão plana com espessura, garantindo, assim, a validação do ensaio para a terceira dimensão: a espessura.

2.1.4 Entrada da Espessura da Viga e Discretização da Malha

Para a inserção da espessura da viga, na seção **Preprocessor** clicou-se em **Real Constants, Add/Edit/Delete**. Já no menu **Real Constant for Plane Stress with Thickness** inseriu-se o valor, em metros, da espessura da peça; no caso, 0,1 m.

Na seção **Preprocessor, Meshing, Size Cntrls, Manual Size, Areas, Picked Areas**, selecionou-se a área para qual os elementos seriam discretizados. Neste primeiro passo, definiu-se o tamanho dos elementos e selecionou-se a área do modelo. Feita essa seleção, na janela para definição do tamanho dos elementos da malha, foi escolhido o tamanho desejado, no nosso caso, 0,0025 m. Em **Meshing**, clicou-se em **Mesh, Areas, Free** e selecionou-se a área da viga. Feita essa seleção, foi exibida a malha do modelo.

2.1.5 Inserção das Condições de Contorno

Nesta etapa, foram inseridas as condições de contorno do modelo, tais como os apoios e a carga máxima aplicada antes da ruptura. Construída a malha, se dispuseram os nós de tal forma que neles se distribuíram as cargas e os apoios em seus respectivos nós. A ruptura por flexão de viga do experimento seguiu o disposto na NBR 12142:2010, definida por flexão de quatro pontos, ou seja, o ensaio será o de flexão com cisalhamento (flexão de três pontos). Assim, a viga fica biapoiada na prensa à medida que se desceu o braço da prensa com velocidade constante e o *software Ansys®* mostra a carga aplicada em Newton (N) ou quilonewton (kN), bem como os respectivos deslocamentos que ocorreram até a ruptura da peça no vão central. Para encontrar qual nó os apoios estão assentados e qual nó o braço da prensa aplicou a carga na peça, dispõe-se, que na barra superior, o ícone **List**. Ao clicarmos em **Nodes**, será aberta uma janela de seleção e, nela foi possível selecionar a opção **Coordinates only**.

O ensaio ocorreu da seguinte maneira: deixou-se livre um vão de 30 cm na viga e a carga foi aplicada no meio de seu vão. Como os apoios na viga estavam simetricamente posicionados, o braço da prensa aplicou uma carga na peça no meio do vão. Com as posições definidas, procurou-se o nó correspondente para a posição dos apoios e da aplicação da carga. Para representação do ensaio experimental, foram aplicados os apoios e a carga seguindo a NBR 12142:2010. Para isso temos que no apoio esquerdo localiza-se no nó 22. O nó do apoio direito é o nó 142 e o nó de aplicação da carga é o nó 282. Daí, aplicou-se as cargas e apoios na viga do modelo utilizando-se, no menu principal, a aba **Solution, Define Loads, Apply, Structural, Displacement, On Nodes**.

Na janela de seleção de nós, definiu-se o apoio esquerdo e, na janela de seleção, no item **List of Items** inseriu-se o número do nó, no caso 22. Já na janela de seleção das restrições aos deslocamentos selecionou-se **UY** e, no valor do deslocamento, informou-se 0, o que significa que o apoio não sofrerá deslocamento na direção *y*. Para o apoio da direita, repete-se esse mesmo procedimento, com a modificação apenas para os deslocamentos: adiciona-se o deslocamento **UX** na seleção e informa-se o valor 0 para ambos. Aplicada à carga última de ruptura no modelo, o procedimento foi análogo aos anteriores: na seção **Solution, Define Loads, Apply, Structural**, clicou-se em **Force/Moment, On Nodes**, e, após a janela de seleção de nós, selecionou-se o nó de aplicação. Finalmente, na janela de entrada da carga, selecionou-se a opção **FY** e, na seção **Apply as**, selecionou-se **Constant Value**, inserindo-se o valor da carga em Newton (N). O sinal negativo indica que a carga é orientada no sentido negativo do eixo.

3 | RESULTADOS NUMÉRICOS

Aplicação 1: Viga Engastada e Apoiada

Nesta aplicação foi realizada a primeira validação da metodologia empregada neste trabalho considerando os resultados de Mello e Castanheira (2010) para a viga engastada e apoiada. Por definição, esta é aquela na qual em uma de suas extremidades há restrições quanto à rotação no eixo perpendicular ao plano e translação nas duas direções do plano no qual a viga está inscrita e ao longo da barra há um apoio, podendo ser de primeiro gênero, restringindo a translação em uma direção ou de segundo gênero, restringindo a translação em duas direções no plano inscrito (SÜSSEKIND, 1981).

A viga mostrada na Fig. 1 possui o módulo de elasticidade $E = 200 \text{ GPa}$; o coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$; o momento de inércia da seção transversal $I = 1,180 \times 10^{-4} \text{ m}^4$ no eixo *z*, com a seção transversal quadrada de lado igual a 0,194 m. As dimensões da viga, bem com as condições de contorno são detalhadas na Fig. 1.

Para obtenção dos resultados, utilizou-se elementos quadrangulares de 0,097 m e, para cada elemento quadrangular de discretização, o elemento **Quad 8 node 183** da seção **Solid**. Já para os nós do engaste, bem como no nó do apoio simples, aplicou-se as condições de contorno do apoio,.

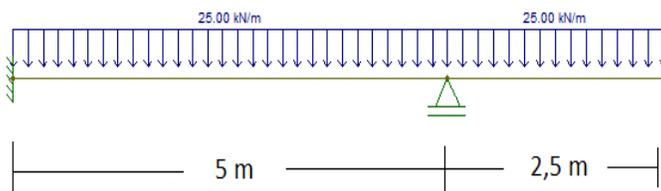
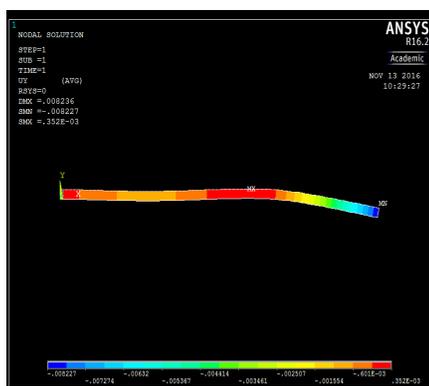
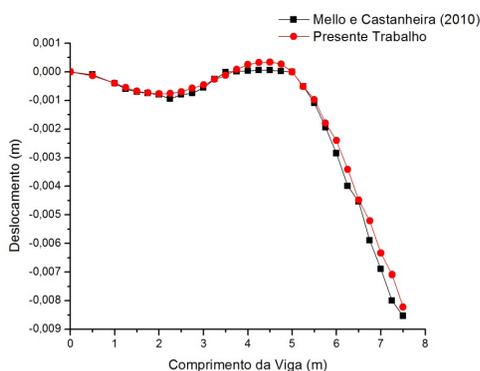


Figura 1 - Viga Engastada e Apoiada

Em Mello e Castanheira (2010), a carga foi distribuída por toda a viga e, como *software Ansys®* não permite realizar essa distribuição de carga, foi feita a distribuição nos nós da face superior da viga. A carga atuante total de 187500 N na viga foi distribuída pelos 79 nós da face superior, sendo uma carga de 2373,42 N para cada nó. Impostas todas as condições de contorno, apoios e carregamentos, o resultado para o deslocamento no eixo y é o disposto na Fig. 2(a). Já a Fig. 2(b) apresenta a comparação entre os modelos. Foi determinado o erro médio quadrático dado por $\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^{n+1} \varepsilon_i^2}$ (LICHTEN, 1999), sendo $\varepsilon = d_i - d_i^*$, com d_i a solução numérica, d_i^* o deslocamento e n o número de pontos da discretização e é apresentado (Tabela 1).



(a)



(b)

Figura 2 – (a) Deslocamento no eixo y do modelo e (b) comparação entre os modelos.

Número de Pontos	Erro Médio Quadrático (ε)
28	4,61E-08

Tabela 1 - Erro Quadrático Médio

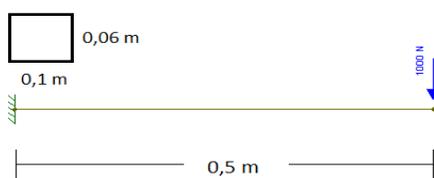
Aplicação 2: Viga Engastada e Livre

Já nesta aplicação, considerando-se os resultados de Liu e Quek (2003) para a viga engastada e livre, foi feita a segunda validação da metodologia. Segundo Süsskind (1981), uma viga engastada e livre é aquela na qual em uma de suas extremidades há restrições quanto à rotação no eixo perpendicular ao plano e translação nas duas direções do plano na qual a viga está inscrita e a outra extremidade não há nenhum tipo de restrição quanto à translação e rotação dentro do plano na qual a viga está inscrita. A viga mostrada na Fig. 3(a) possui o módulo de elasticidade $E = 69 \text{ GPa}$; o momento de inércia da seção transversal $I = 1,80 \times 10^{-6} \text{ m}^4$ no eixo z, com a seção transversal retangular de base 0,1 m

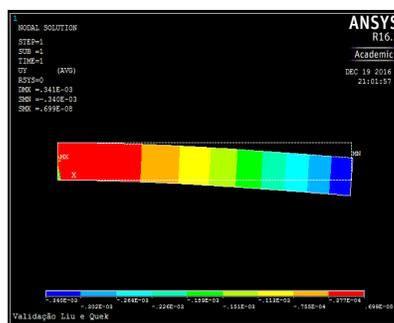
e altura 0,06 m e o coeficiente de Poisson $\nu = 0,33$. As dimensões da viga, bem com as condições de contorno são detalhadas na Fig. 3(a) Para obtenção dos resultados, utilizou-se elementos quadrangulares de 0,005 m e, como na aplicação anterior, o elemento **Quad 8 node 183**. Já para os nós do engaste foram aplicadas as condições de contorno do apoio, bem como no nó do apoio simples.

Em Liu e Quek (2003), a carga era pontual na ponta do balanço, sendo aplicada no último nó da face superior e a carga atuante de 1000 N (Fig. 3(a)). Impostas todas as condições de contorno, apoios e carregamentos, o modelo foi resolvido usando o *software Ansys®* e o resultado do deslocamento no eixo *y* é o disposto na Fig. 3(b)

Como no caso anterior, foi determinado o erro médio quadrático e apresentado na Tabela 2. Já a Tabela 3 mostra o erro associado para os deslocamentos em Liu e Quek (2003) e para o presente trabalho.



(a)



(b)

Figura 3 – (a) Detalhamento da viga engastada e seção transversal e (b) deslocamento no eixo *y* do modelo.

Comprimento da viga (m)	Presente Trabalho (m)	Liu e Quek (2003) (m)
0,00	0,00	0,00
0,25	-1,065E-04	-1,048E-04
0,50	-3,396E-04	-3,355E-04

Tabela 2 - Deslocamento disposto em Liu e Quek (2003) e no presente trabalho

Número de pontos (n)	Erro Médio Quadrático (ϵ)
3	2,23E-06

Tabela 3 - Erro Quadrático Médio

Aplicação 3: Flexão de viga de concreto não armada

Neste aplicação, serão avaliados a tensão normal de tração máxima σ_x , o deslocamento ocorrido no ponto de aplicação da carga na parte inferior da peça para não ter influência do efeito de Saint-Venant e a primeira tensão principal no meio do vão na face inferior. Para a realização da modelagem, foram inseridas na definição das condições de contorno, a carga última de ruptura da viga, o módulo de deformação longitudinal e o coeficiente de Poisson. Para cada resistência característica à compressão f_{ck} do concreto, definiu-se uma carga última de acordo com a resistência média à tração, a qual depende da resistência característica à compressão f_{ck} .

O módulo de deformação longitudinal, tratado na NBR 6118:2014 como módulo de elasticidade, é encontrado através de ensaios e é definido em dois tipos: o tangente (E_{ci}) e o secante (E_{cs}). O módulo tangente é definido representando a inclinação da reta tangente à curva na origem do diagrama tensão-deformação do concreto submetido à compressão simples. Já o módulo secante se refere à inclinação da reta que passa pela origem e corta o diagrama no ponto correspondente a uma tensão de $0,4 f_c$, com f_c sendo a resistência à compressão simples (ARAÚJO, 2014).

O módulo de deformação tangente pode ser estimado a partir da Eq. (13) proposta pela NBR 6118:2014, a partir da resistência f_{ck} na qual o concreto foi dosado, válida para concretos com f_{ck} de 20 MPa a 50 MPa:

$$E_{ci} = \alpha_E 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

com E_{ci} e f_{ck} em MPa e com α_E sendo um coeficiente que leva em consideração o tipo de agregado graúdo utilizado, sendo $\alpha_E = 1,2$ para basalto e diabásio, $\alpha_E = 1,0$ para granito e gnaisse, $\alpha_E = 0,9$ para calcário e $\alpha_E = 0,7$ para arenito.

O módulo de deformação secante pode ser estimado como sendo:

$$E_{cs} = \alpha_i E_{ci} \quad (2)$$

com

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0 \quad (3)$$

Para avaliação no ensaio de flexão, a NBR 6118:2014 permite avaliar o comportamento de um elemento a tração com o módulo de deformação secante E_{cs} . Neste trabalho, o agregado utilizado na confecção dos corpos de prova foi a brita, extraída de rocha de granito. Na Tabela 4 seguem os valores estimados, em MPa, para o módulo de deformação secante E_{cs} .

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 4 - Módulo de Deformação do Concreto

A carga última será definida a partir da resistência característica à compressão na qual o concreto foi dosado. A resistência média a tração segundo a NBR 6118:2014, para concretos de f_{ck} de 20 MPa a 50 MPa, definido pela NBR 6118:2014, é obtida através da relação

$$f_{ctm} = 0,3(f_{ck})^{2/3} \quad (4)$$

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

No ensaio de flexão de três pontos, (Fig. 4), a tensão resistente de tração na flexão é dada por

$$f_{ct,fl} = \frac{3 P_u L}{2 b h^2} \quad (5)$$

com P_u em N; L , b e h em m e $f_{ct,fl}$ em Pa.

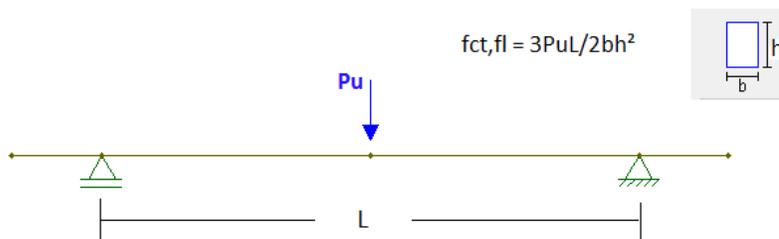


Figura 4 - Representação do Ensaio de Flexão de 3 Pontos

A relação da resistência a tração no ensaio de flexão com a resistência média a tração é dada por

$$f_{ctm} = 0,7 f_{ct,fl} \quad (6)$$

com f_{ctm} e $f_{ct,fl}$ em MPa.

Tendo em vista as relações acima apresentadas e o ensaio de flexão a ser realizado, apresentamos na Tabela 5 as cargas estimadas de ruptura, denominada por P_u , a serem utilizadas na modelagem computacional. De posse da carga última estimada de ruptura P_u ,

inseriu-se os valores na modelagem computacional.

Para exibição dos resultados no *Ansys*[®], definidos os carregamentos para cada viga de concreto com o f_{ck} (Tabela 5), na seção *Solution*, no item *Solve* resolveu-se a modelagem de cada flexão de viga de acordo com seu respectivo f_{ck} .

f_{ck} (MPa)	P_u (kN)
15	5,793
20	7,017
25	8,143
30	9,195

Tabela 5 - Carga Estimada de Ruptura

A solução fornecida pelo *Ansys*[®] na seção **General Postproc** forneceu a opção de que tipo de resultado deseja-se extrair dependendo da análise a ser feita. Para a análise nodal dos resultados, deve-se recorrer a **Plot Results, Contour Plot, Nodal Solution**. Para análise do deslocamento ocorrido no nó de aplicação da carga, escolheu-se a opção **DOF Solution, Y-Component of displacement**. Já para a análise da tensão normal de tração máxima σ_x , optou-se pela opção **Stress, X-Component of stress**. Para análise da primeira tensão principal, escolheu-se a opção **Stress, 1st Principal Stress**. Nesta aba, na opção **Undisplaced shape key** selecionou-se a opção **Deformed shape with undeformed edge**.

Seguem os resultados para os deslocamentos, tensão normal e principal para cada respectiva resistência f_{ck} . Para os deslocamentos são apresentados os resultados em metros e a tensão normal e principal, em Pascal.

A Fig. 5(a) mostra o gradiente de deslocamentos ao longo da viga. As cores representam a intensidade do deslocamento sofrido pelos nós devido à flexão, sendo que cada matiz representa um intervalo de deslocamento, e, a partir das cores, pode-se observar a disposição dos deslocamentos ao longo da peça e seu comportamento. Já na Fig. 5(b) observa-se a distribuição da tensão normal nos nós da viga de concreto: o gradiente de cores mostra a transição de tensão dentro da peça, variando da compressão nas áreas próximas da aplicação da carga para a tração nas áreas próximas da face inferior da peça. Cada matiz representa um intervalo de tensão. Observa-se também que grande parte da peça foi submetida a esforços de tração, com uma pequena fração submetida à tensão de compressão. Já na Fig. 5(c), observou-se a distribuição da 1ª tensão principal nos nós da viga de concreto. Esta tensão leva em consideração apenas a maior tensão nas direções principais dos nós, não havendo tensões fora destas direções. Para a 1ª tensão principal foram consideradas as maiores tensões nas direções principais. Cada matiz representa

um intervalo de tensão. Observou-se também que grande parte da peça foi submetida a um baixo esforço de tração, com as partes na face inferior com consideráveis tensões de tração.

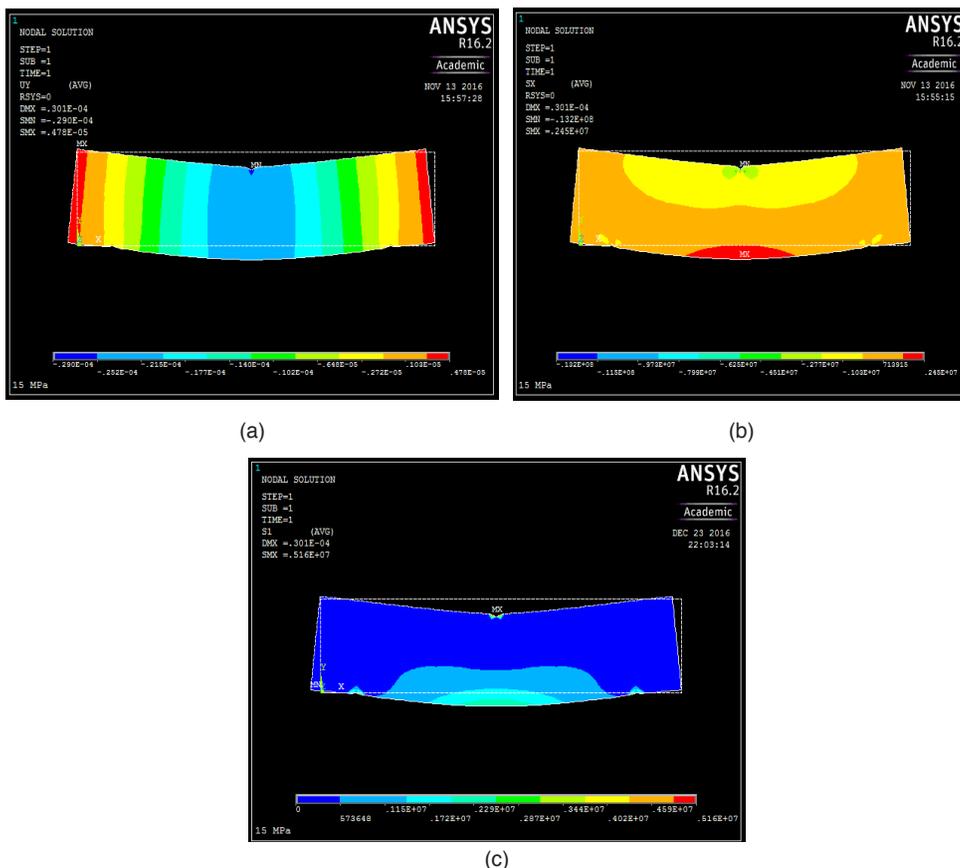


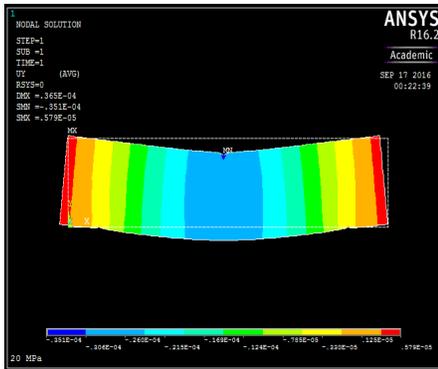
Figura 5 – (a) Deslocamento no eixo y, (b) tensão normal no eixo x e (c) 1ª tensão principal para $f_{ck} = 15$ MPa

A seguir, apresenta-se os resultados para a tensão de deslocamento, tração e 1ª tensão principal para o f_{ck} de 20 MPa. Verifica-se na Fig. 6(a) o gradiente de deslocamentos ao longo da viga. As cores representam a intensidade do deslocamento sofrido pelos nós devido à flexão. Cada matiz representa um intervalo de deslocamento. A partir das cores pode-se observar a disposição dos deslocamentos ao longo da peça e seu comportamento. Já na Fig. 6(b) observa-se a distribuição da tensão normal nos nós da viga de concreto: o gradiente de cores mostra a transição de tensão dentro da peça, variando da compressão nas áreas próximas da aplicação da carga para a tração nas áreas próximas da face inferior da peça. Cada matiz representa um intervalo de tensão, conforme mostrado na Fig. 6(b).

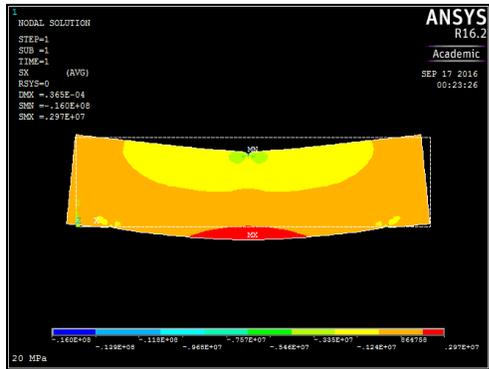
Observa-se também que grande parte da peça foi submetida a esforços de tração, com uma pequena fração submetida à tensão de compressão. Já a Fig. 6(c) mostra a distribuição da 1ª tensão principal nos nós da viga de concreto. Esta tensão leva em consideração apenas a maior tensão nas direções principais dos nós, não havendo tensões fora destas direções. Para a 1ª tensão principal, foram consideradas as maiores tensões nas direções principais. Cada matiz representa um intervalo de tensão, conforme mostrado na Fig. 6(c). Observou-se também que grande parte da peça foi submetida a um baixo esforço de tração, com as partes na face inferior com consideráveis tensões de tração.

A Figura 7 os resultados para a tensão de deslocamento, tração e 1ª tensão principal para o f_{ck} de 25 MPa. Verifica-se na Fig. 7(a) o gradiente de deslocamentos ao longo da viga. As cores representam a intensidade do deslocamento sofrido pelos nós devido à flexão. Cada matiz representa um intervalo de deslocamento, conforme mostrado na Fig. 7(b). A partir das cores pode-se observar a disposição dos deslocamentos ao longo da peça e seu comportamento. Já na Fig. 7(b) observa-se a distribuição da tensão normal nos nós da viga de concreto: o gradiente de cores mostra a transição de tensão dentro da peça, variando da compressão nas áreas próximas da aplicação da carga para a tração nas áreas próximas da face inferior da peça. Cada matiz representa um intervalo de tensão, conforme mostrado na Fig. 7(b).

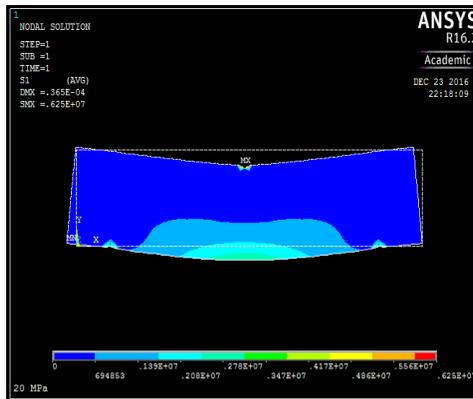
Observa-se também que grande parte da peça foi submetida a esforços de tração, com uma pequena fração submetida à tensão de compressão. Já na Fig. 7(c) observa-se a distribuição da 1ª tensão principal nos nós da viga de concreto. Esta tensão leva em consideração apenas a tensão nas direções principais dos nós, não havendo tensões fora destas direções. Para a 1ª tensão principal, considerou-se as maiores tensões nas direções principais. Cada cor representa um intervalo de tensão, conforme mostrado na Fig. 7(c). Observa-se também que grande parte da peça está submetida a um baixo esforço de tração, com as partes nas face inferior com consideráveis tensões de tração.



(a)



(b)

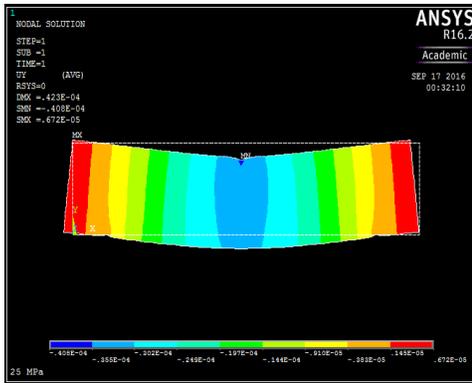


(c)

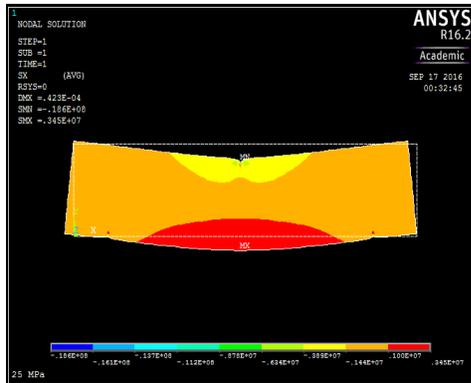
Figura 6 – (a) Deslocamento no eixo y, (b) tensão normal no eixo x e (c) 1ª tensão principal para $f_{ck} = 20$ MPa

A seguir, seguem os resultados para a tensão de deslocamento, tração e 1ª tensão principal para o f_{ck} de 30 MPa.

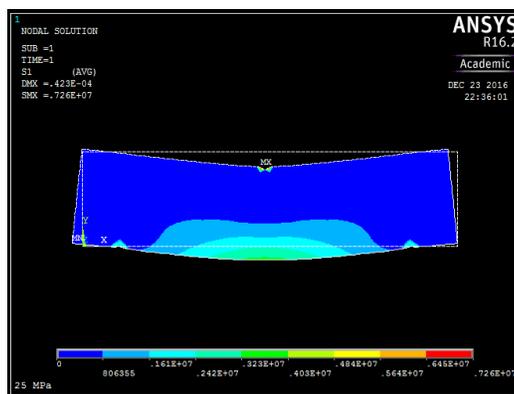
Verifica-se na Fig. 8(a) o gradiente de deslocamentos ao longo da viga. As cores representam a intensidade do deslocamento sofrido pelos nós devido à flexão. Cada matiz representa um intervalo de deslocamento, conforme mostrado na Fig. 8(b). A partir das cores pode-se observar a disposição dos deslocamentos ao longo da peça e seu comportamento. Já na Fig. 8(b) observa-se a distribuição da tensão normal nos nós da viga de concreto: o gradiente de cores mostra a transição de tensão dentro da peça, variando da compressão nas áreas próximas da aplicação da carga para a tração nas áreas próximas da face inferior da peça.



(a)



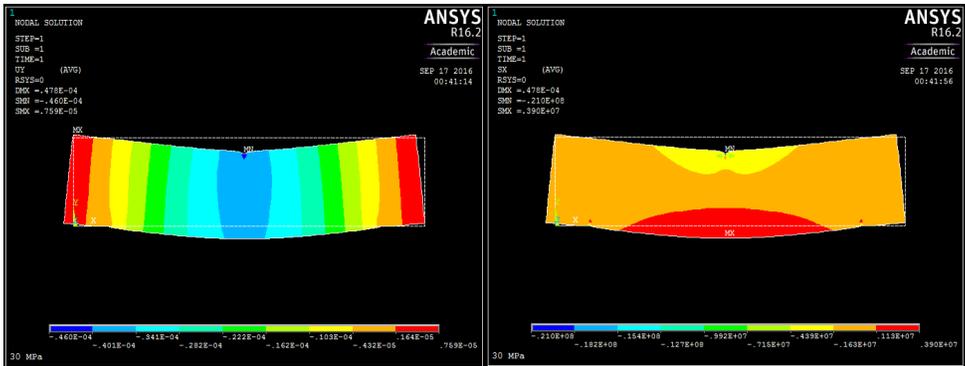
(b)



(c)

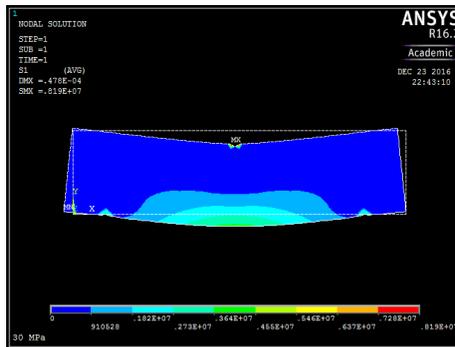
Figura 7 – (a) Deslocamento no eixo y , (b) tensão normal no eixo x . e (c) 1ª tensão principal para $f_{ck} = 25$ MPa

Cada matiz representa um intervalo de tensão, conforme mostrado na Fig. 8(c). Observa-se também que grande parte da peça foi submetida a esforços de tração, com uma pequena fração submetida à tensão de compressão. Já na Fig. 8(c) observa-se a distribuição da 1ª tensão principal nos nós da viga de concreto. Esta tensão leva em consideração apenas a maior tensão nas direções principais dos nós, não havendo tensões fora destas direções. Para a 1ª tensão principal, foram consideradas as maiores tensões nas direções principais. Cada matiz representa um intervalo de tensão, conforme mostrado na Fig. 8(c). Observou-se também que grande parte da peça foi submetida a um baixo esforço de tração, com as partes na face inferior com consideráveis tensões de tração.



(a)

(b)



(c)

Figura 8 – (a) Deslocamento no eixo y, (b) tensão normal no eixo x. e (c) 1ª tensão principal para $f_{ck} = 30$ MPa

A deformação na face inferior no vão central no concreto obtida na análise computacional está disposta na Tabela 6. O sinal negativo significa que o deslocamento foi contrário ao sentido positivo atribuído ao eixo y, ou seja, o deslocamento foi para baixo. A tensão máxima de tração no concreto obtida na análise numérica está disposta na Tabela 7. Já a Tabela 8 apresenta a 1ª tensão principal no concreto na face inferior no meio do vão obtida na análise numérica.

A evolução dos deslocamentos máximos ocorridos na face inferior da viga e tensões normais de tração máximas de acordo com o f_{ck} do concreto utilizado, conforme mostrado na Fig. 9.

Observando as taxas de deslocamento e tração, nota-se que um decréscimo e crescimento, respectivamente, linear, o que corrobora as considerações feitas inicialmente sobre o material, considerando-o elástico linear e isotrópico até o seu rompimento à tração. Também, a partir destes dados, podem ser estimados os valores do deslocamento ou tensões médias de tração para outras classes de resistências f_{ck} até o limite de resistência do Grupo I definido pela NBR 6118:2014.

f_{ck} (MPa)	Deformação no vão central (m)
15	-2,21E-05
20	-2,68E-05
25	-3,10E-05
30	-3,50E-05

Tabela 6 - Deflexão máxima ao longo do vão central

f_{ck} (MPa)	Tensão de Tração (MPa)
15	2,4543
20	2,9728
25	3,4499
30	3,8956

Tabela 7 - Tensão de Tração Normal no Meio do Vão Central

f_{ck} (MPa)	1ª Tensão Principal (MPa)
15	2,45
20	2,97
25	3,45
30	3,90

Tabela 8 - 1ª Tensão Principal no Meio do Vão Central

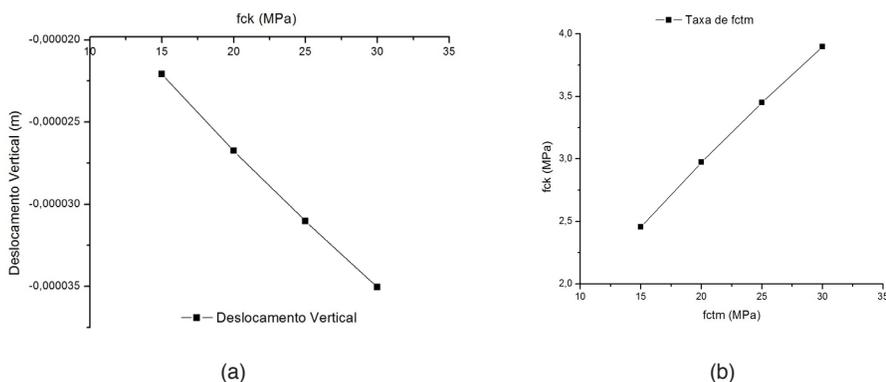


Figura 9 – (a) Taxa de deslocamento no vão central e (b) taxa de tração média no vão central.

4 | CONCLUSÃO

Neste trabalho, ferramentas computacionais para análise do ensaio de flexão de três pontos em vigas de concreto foram utilizadas. Foram avaliadas as tensões normal e principal no concreto e o deslocamento sofrido pela viga.

A validação da metodologia de solução via o *software Ansys*[®] foi realizada através de comparação com resultados disponíveis na literatura aberta e exemplos de aplicação foram apresentados mostrando que o *software Ansys*[®] constitui uma ferramenta viável na simulação computacional de flexão de vigas de concreto simples, tendo em vistas a diminuição de custos, sobretudo em se tratando de ensaios em laboratório. Futuros trabalhos poderão ser desenvolvidos a partir do desmembramento deste, tais como a execução de ensaios considerando outras geometrias de peça de concreto, tais como corpos de prova cilíndricos.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J.M. **Curso de Concreto Armado**, v. 1. Rio Grande: Dunas, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

CARVALHO, R.C; FIGUEREDO FILHO, J.R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: seguindo a NBR 6118:2014**. 3ª ed. São Carlos: EdUfscar, 2007.

JUKIC, M.; BRANK, B.; IBRAHIMBEGOVIC, A. Failure analysis of reinforced concrete frames by beam finite element that combines damage, plasticity and embedded discontinuity. **Engineering Structures**, n. 75, p. 507-527, 2014.

LICHTEN, W. **Data and Error Analysis**. New York: Prentice-Hall, 1999.

LIU, G.R.; QUEK, S.S. **The Finite Element Method - A Practical Course**. Burlington: Elsevier, 2003.

MELLO, F.M.; CASTANHEIRA, P. **Elementos Finitos - Formulação Residual de Galerkin - Uma introdução com aplicações**. Lisboa: Sílabo, 2010.

QAPO, M.; DIRAR, S.; JEMAA, Y. Finite element parametric study of reinforced concrete beams shear-strengthened with embedded FRP bars. **Composite Structures**, n. 149. p. 93-105, 2016.

SHANG, H.Y.; MACHADO, R.D; ABDALLA FILHO, J.E. Dynamic analysis of Euler–Bernoulli beam problems using the Generalized Finite Element Method. **Computers and Structures**, n. 173. p. 109-122, 2016.

STOLARSKI, T.A; NAKASONE, Y; YOSHIMOTO, S. **Engineering Analysis with ANSYS Software**. New York : Elsevier, 2007.

SÜSSEKIND, J.C. **Curso de Análise Estrutural**. v. 1. Rio de Janeiro: Globo, 1981.

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 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 