

Engenharias:

Da Genialidade à Profissão e
seu Desenvolvimento

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)



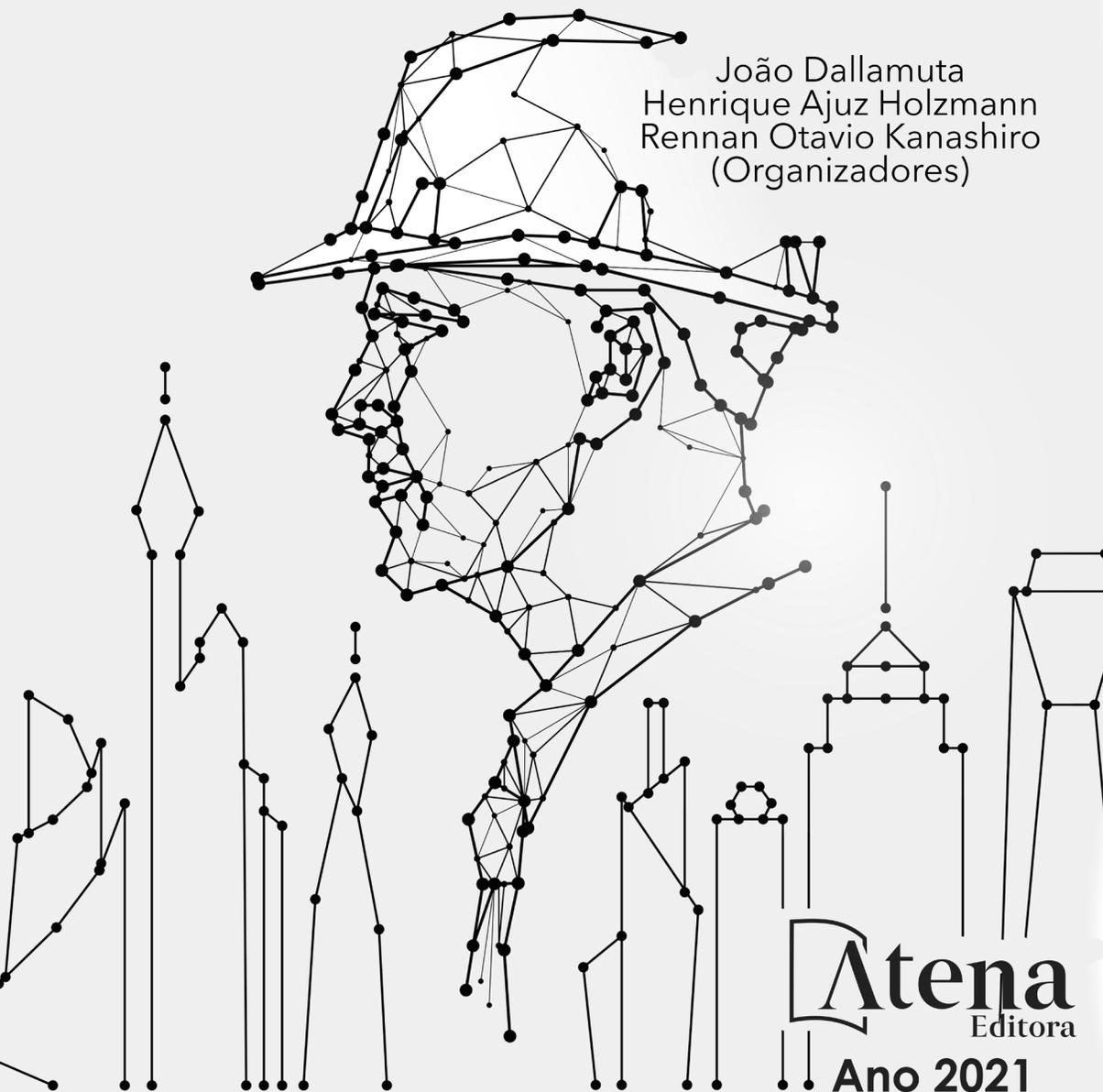
Atena
Editora

Ano 2021

Engenharias:

Da Genialidade à Profissão e
seu Desenvolvimento

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)



Atena
Editora

Ano 2021

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Ciências Biológicas e da Saúde

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

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. 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
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª 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. Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
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
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
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/UFGA
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 Fenomenología & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lilian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Lúvia 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
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª 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
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Engenharias: da genialidade à profissão e seu desenvolvimento

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: da genialidade à profissão e seu desenvolvimento / 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 978-65-5983-071-8
DOI 10.22533/at.ed.718211205

1. Engenharia. 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

Neste livro optamos por uma abordagem multidisciplinar por acreditarmos que esta é a realidade da pesquisa em nossos dias.

A realidade é que não se consegue mais compartimentar áreas do conhecimento dentro de fronteiras rígidas, com a mesma facilidade do passado recente. Se isto é um desafio para trabalhos de natureza mais burocrática como métricas de produtividade e indexação de pesquisa, para os profissionais modernos está mescla é bem-vinda, porque os desafios da multidisciplinariedade estão presentes na indústria e começam a ecoar no ambiente mais ortodoxo da academia.

Aos pesquisadores, editores e aos leitores para quem, em última análise todo o trabalho é realizado, agradecemos imensamente pela oportunidade de organizar tal obra.

Boa leitura!

João Dallamuta

Henrique Ajuz Holzmann

Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANALYSIS OF ELEVATOR HINGE MOMENT IN AN UNMANNED AERIAL VEHICLE DESIGNED FOR SAE AERODESIGN COMPETITION USING CFD SIMULATION

Bruno Santos Junqueira
Daniel Coelho de Oliveira
Turan Dias Oliveira
Vinícius Carneiro Rios Machado

DOI 10.22533/at.ed.7182112051

CAPÍTULO 2..... 10

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE UM AEROMODELO ATRAVÉS DO SOFTWARE XFLR5

Marcos Paulo Azevedo
Igor Felice Souza Mosena
Renato de Sousa Maximiano
Erika Peterson Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.7182112052

CAPÍTULO 3..... 18

IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS ATRIBUTOS PARA O PROJETO DE UMA REDE CICLOVIÁRIA

Taiany Richard Pitilin
Luciana Mação Bernal
Otavio Henrique da Silva
Suely da Penha Sanches

DOI 10.22533/at.ed.7182112053

CAPÍTULO 4..... 32

ANÁLISE DE INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA UTILIZANDO AS FERRAMENTAS DE ECOEFICIÊNCIA

Filipe Batista Ribeiro
Bruno Guida Gouveia
Filipe Almeida Corrêa do Nascimento
Marcelino Aurélio Vieira da Silva
Antônio Carlos Rodrigues Guimarães
Priscila Celebrini de Oliveira Campos

DOI 10.22533/at.ed.7182112054

CAPÍTULO 5..... 49

DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE PASSAGEM EM JORNADA de SERVIÇO DE MAQUINISTAS

Marina Donato
Caio Almeida Arêas Reis
Paulo Roberto Borges
Mayara Souza Gomes
Débora Dávila Cruz Santos

Ana Flávia Moraes de Souza

DOI 10.22533/at.ed.7182112055

CAPÍTULO 6..... 63

PROJETO DE UM SISTEMA AUTÔNOMO PURO CC DE BAIXO CUSTO UTILIZANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Eliamare Alves da Silva

Danilo Medeiros de Almeida Cardins

Lizandra Vitória Gonçalves dos Santos

Kelvonn Henrique Matos de Oliveira Xavier

Jalberth Fernandes de Araújo

DOI 10.22533/at.ed.7182112056

CAPÍTULO 7..... 75

APLICABILIDADE DE GEOSSINTÉTICOS EM OBRAS DE ENGENHARIA

Marcus Gabriel Souza Delfino

Juliângelo Kayo Sangi de Oliveira

Gabriela Callegario Santolin

DOI 10.22533/at.ed.7182112057

CAPÍTULO 8..... 87

ESTABILIZAÇÃO DE UM SOLO PLÁSTICO COM O USO DO RESÍDUO DE GESSO ACARTONADO DA INDÚSTRIA DE DRYWALL PARA APLICAÇÃO EM PAVIMENTAÇÃO

Lourena Ferreira Uchôa

Lilian Medeiros Gondim

DOI 10.22533/at.ed.7182112058

CAPÍTULO 9..... 102

POTENCIAL DA APLICAÇÃO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ALTERNATIVAS E SUSTENTABILIDADE

Aline Viancelli

Antônio Cristiano Lara Sampaio

Christian Antônio dos Santos

Daniel Celestino Fornari Bocchese

Denilson Lorenzatto

Helton Araujo Couto Carneiro

Luiz Fernando Broetto

Patrícia Aparecida Zini

Paula Roberta Silveira Málaga

Robison Ranieri Martins

Thiago Demczuk

William Michelin

DOI 10.22533/at.ed.7182112059

CAPÍTULO 10..... 109

THE PILOTIS AS SOCIOSPATIAL INTEGRATOR: THE URBAN CAMPUS OF THE CATHOLIC UNIVERSITY OF PERNAMBUCO

Andreyra Raphaella Sena Cordeiro de Lima

Maria de Lourdes da Cunha Nóbrega

Robson Canuto da Silva

DOI 10.22533/at.ed.71821120510

CAPÍTULO 11..... 124

DESAFIOS DO MUNICÍPIO DE SÃO DESIDÉRIO PARA PROMOÇÃO DO DIREITO AO SANEAMENTO BÁSICO SOB A ÓTICA DA POLÍTICA PÚBLICA MUNICIPAL

Amanda dos Santos Carteado Silva

Luiz Roberto Santos Moraes

DOI 10.22533/at.ed.71821120511

CAPÍTULO 12..... 132

DEGRADAÇÃO DE FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO EM BRASÍLIA: ESTUDO DE CASO

Lukas Augusto Moreira

Nathaly Sarasty Narváez

Vanessa Nupán Narváez

DOI 10.22533/at.ed.71821120512

CAPÍTULO 13..... 151

EFEITO DE VARIÁVEIS-CHAVE DA MISTURA SOLO-CIMENTO NA DOSAGEM FÍSICO-QUÍMICA E COMPORTAMENTO MECÂNICO PARA BASE DE PAVIMENTOS

José Wilson dos Santos Ferreira

Diego Manchini Milani

Michéle Dal Toé Casagrande

Raquel Souza Teixeira

DOI 10.22533/at.ed.71821120513

CAPÍTULO 14..... 165

SERENS: DISCUTINDO O PRESENTE PARA TRAÇAR O FUTURO

Rosângela de Araújo Santos

Teresinha de Quadros Guilherme dos Santos

Jarbas Cordeiro Sampaio

Ernando Ferreira

Elisa Cristina de Barros Casaes

Aline Rita Pereira Hohenfeld

Eleilson Santos Silva

DOI 10.22533/at.ed.71821120514

CAPÍTULO 15..... 175

DIRT AND ABSORPTION TESTS IN PROTECTIVES FILMES APPLIED TO PHOTOVOLTAIC PANELS: A SYSTEMATIC REVIEW

Luciano Teixeira dos Santos

Alex Álisson Bandeira Santos

Joyce Batista Azevedo

Paulo Roberto Freitas Neves

DOI 10.22533/at.ed.71821120515

CAPÍTULO 16.....	183
DISPOSITIVOS PARA DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CRISTAIS DE GELO EM SOLUÇÃO DE GELO LÍQUIDO	
Ricardo Santos Nascimento	
Rennan Yie Yassu Nishimori	
Vivaldo Silveira Junior	
DOI 10.22533/at.ed.71821120516	
CAPÍTULO 17.....	196
VISÃO GERAL DOS INIBIDORES BIFUNCIONAIS A BASE DE TERRAS RARAS E SUAS APLICAÇÕES	
Célia Aparecida Lino dos Santos	
Fabiana Yamasaki Vieira Martins	
Rafael Augusto Camargo	
Zehbour Panossian	
DOI 10.22533/at.ed.71821120517	
CAPÍTULO 18.....	211
VARIABILIDADE GENÉTICA EM PROGÊNIES DE <i>Parkia platycephala</i> Benth	
Dandara Yasmim Bonfim de Oliveira Silva	
Séfora Gil Gomes de Farias	
Lucas Ferraz dos Santos	
Romário Bezerra e Silva	
Moema Barbosa de Sousa	
Grazielle Nunes Lopes dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.71821120518	
CAPÍTULO 19.....	224
LAPSUS TRÓPICUS E A DIALÉTICA DO ANTROPOCENO	
Karen Aune	
DOI 10.22533/at.ed.71821120519	
CAPÍTULO 20.....	240
TESTES DE CISALHAMENTO SIMPLES PARA ANÁLISE DA INTERFACE ADESIVA CONCRETO/ PRF ATRAVÉS DE ESTUDOS NUMÉRICOS	
Maicon de Freitas Arcine	
Nara Villanova Menon	
DOI 10.22533/at.ed.71821120520	
SOBRE OS ORGANIZADORES	259
ÍNDICE REMISSIVO.....	260

TESTES DE CISALHAMENTO SIMPLES PARA ANÁLISE DA INTERFACE ADESIVA CONCRETO/ PRF ATRAVÉS DE ESTUDOS NUMÉRICOS

Data de aceite: 03/05/2021

Data de submissão: 11/02/2021

Maicon de Freitas Arcine

Universidade Estadual de Maringá,
Departamento de Engenharia Civil
Maringá, PR

Nara Villanova Menon

Universidade Estadual de Maringá,
Departamento de Engenharia Civil
Maringá, PR

RESUMO: O uso de materiais poliméricos reforçados com fibras (PRF) em reforços estruturais é limitado devido à sua falha por descolagem repentina e precoce, o que pode comprometer a segurança da estrutura. Nos diversos estudos sobre estruturas reforçadas a flexão e ao cisalhamento os esforços ao cisalhamento são mais nocivos à estrutura reforçada e são capazes de causar com mais facilidade o descolamento do compósito do que em estruturas reforçadas à flexão. Este artigo tem como objetivo avaliar, por meio de simulações numéricas, as características do deslizamento da interface concreto/PRF submetidas a esforços de cisalhamento. Foi utilizado o teste de cisalhamento simples (*Pull-Out Test* ou *Single-Shear Test*) para avaliar tal situação, que consistiu em aplicar uma força de tração no PRF aderido em um prisma de concreto. Desenvolveu-se um modelo numérico 3D com o software ABAQUS, com a geometria, condições

de contorno e propriedades do material conforme ensaios experimentais. O modelo CDP (*Concrete Damage Plasticity*) foi utilizado neste trabalho para modelagem do concreto. O material polimérico usado foi o PRFC (Polímero Reforçado com Fibra de Carbono). O modelo ortotrópico elástico linear foi adotado para os materiais poliméricos e um modelo de superfície coesiva para a interface (adesivo). Os resultados numéricos foram validados com base em dados experimentais e apresentaram grande semelhança. A evolução do dano foi da extremidade carregada do PRFC até a extremidade livre, mostrando um desempenho semelhante em todas as simulações. A descolagem do reforço foi a principal falha do sistema. O material de reforço que resistiu maior carga no sistema, maior resistência ao cisalhamento e a descolagem foi o PRFC. Observa-se que dificilmente será atingido a ruptura do PRF, pois ocorre primeiramente o colapso da camada adesiva.

PALAVRAS-CHAVE: Cisalhamento simples. PRF. ABAQUS. Descolamento. Simulação Numérica.

NUMERICAL STUDIES FOR CONCRETE ADHESIVE/FRP INTERFACE THROUGH SIMPLE SHEAR TESTS

ABSTRACT: The use of fiber-reinforced polymeric materials (FRP) in strengthened structures is limited due to their failure by early debonding, which can compromise the safety of the structure. In various studies about flexural and shearing strengthened structures, shearing stresses are more harmful to the strengthened structures and they are able to cause debonding

of the composite more easily than in structures strengthened to bending. This article aims to evaluate, through FE simulations, the sliding characteristics of the concrete / PRF interface submitted to shear forces. The Pull-Out Test (or Single-Shear Test) was used to evaluate this situation, which consisted of applying a tensile force to the PRF adhered to a concrete prism. A 3D numerical model was developed with the ABAQUS software, with the geometry, boundary conditions and material properties according to experimental tests. The CDP (Concrete Damage Plasticity) model was used in this work for modeling concrete. The polymeric material used was the CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). The elastic orthotropic model was adopted for polymeric materials and a cohesive surface model for the interface (adhesive). The numerical results were validated based on experimental data and showed great similarity. The evolution of the damage was from the loaded end of the CFRP to the free end, showing a similar performance in all simulations. The debonding of the strengthening was the main failure of the system. It is observed it will be difficult to reach the rupture of the FRP, as the adhesive layer collapses first.

KEYWORDS: Simple shear. FRP. ABAQUS. Debonding. FE simulations.

1 | INTRODUÇÃO

A utilização de materiais compósitos em reforço estrutural surgiu como uma técnica inovadora, uma alternativa para os casos em que emprego dos materiais tradicionais como chapas de aço e concreto, não serem adequados. Os FRPs (*Fiber Reinforced Polymer*) ou PRF (Polímeros Reforçados com Fibras) são materiais compósitos (matriz e reforço) constituídos por fibras embebidas em uma matriz polimérica. Dentro da categoria de PRF, pode-se ressaltar as fibras de vidro (PRFV), fibras de aramida (PRFA) e as fibras de carbono (PRFC). Machado e Machado (2015) destacam que estes materiais apresentam elevada resistência à tração, leveza, resistência à corrosão, à fadiga e amortecimento ao choque.

Segundo Machado e Machado (2015), sistemas compostos estruturados com fibras de carbono oferecem várias possibilidades para permitir o reforço ao cisalhamento dos elementos de concreto armado. Ainda segundo os autores, estes sistemas são utilizados para o envolvimento das seções de concreto com as fibras do PRF transversalmente ao eixo do elemento ou perpendicular a fissuras por cisalhamento, que funcionarão como estribos adicionais.

No entanto, apesar do bom desempenho destes materiais como reforço, o risco de colapso da estrutura ainda é uma possibilidade. Colalillo e Sheikh (2014) evidenciaram o descolamento do material de reforço e posteriormente a falha ao cisalhamento da estrutura. Isso pode ser observado entre as extremidades dos laminados, onde há grandes concentrações de tensões nos arredores do reforço. Portanto, é importante realizar análises da interface Concreto-PRF e encontrar uma compreensão sólida do processo de descolagem ao cisalhamento.

O teste de cisalhamento simples (*Pull-Out Test* ou *Single-Shear Test*) é considerado o mais confiável para estudos de descolamento da interface Concreto-PRF. Neste teste, o

estado de tensão de vigas em concreto armado com regiões de descolamento induzidas por fissuras na fase crítica de uma viga em concreto armado é muito semelhante ao sistema de teste de cisalhamento simples (MAZZOTTI; SAVOIA; FERRACUTI, 2009). Nesse sistema, a força aplicada ao compósito é gradualmente transmitida ao substrato por forças de cisalhamento agindo na interface (Figura 1). Estas tensões passam da extremidade carregada para a extremidade livre do PRF, de modo que o comprimento de ligação efetivo (comprimento efetivo de transferência de tensão) varia no decorrer do teste (BARBIERI et al., 2016; ZHANG et al., 2020).

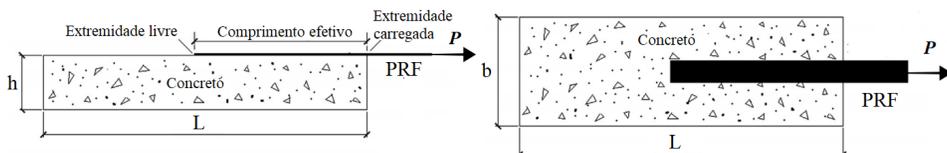


Figura 1 – Teste de cisalhamento simples (Adaptado de ZHANG et al. (2020))

O estudo utilizando o método dos elementos finitos (MEF) se tornou uma grande ferramenta em análises de engenharia. A abordagem incorreta de *softwares* que adotam este método, pode ser desastrosa. Portanto, resultados experimentais precisam ser apresentados para calibrar os modelos adotados e assim, analisar corretamente o problema. O estudo por meio do MEF é amplo, utilizando diversos elementos, vários tipos de carregamentos, condições de contorno e propriedades dos materiais.

Neste artigo, o *software* de elementos finitos ABAQUS foi utilizado para as simulações de testes de cisalhamento simples. O modelo proposto foi calibrado usando os ensaios experimentais de Yao, Teng e Chen (2005). Foi avaliada a influência do comprimento de adesão na interface, largura do compósito, altura do bloco de apoio e f_c' do concreto.

2 | MODELOS CONSTITUTIVOS PARA OS MATERIAIS

2.1 Modelo de Plasticidade com Dano Acoplado (CDP)

O modelo multiaxial denominado *Concrete Damage Plasticity* (CDP) ou modelo de plasticidade com dano acoplado proposto por Lubliner et al. (1989) e desenvolvido por Lee e Fenves (1998), é descrito como um modelo na forma de tensão efetiva. De acordo com Lubliner et al. (1989), qualquer modelo de plasticidade para o concreto deve envolver quatro suposições básicas, são essas: Leis de evolução de dano, Superfície de plastificação inicial (*Yield criterion*), Lei de encruamento/amolecimento (*Hardening/Softening law*) e Regra de escoamento (*Flow rule*).

2.1.1 Lei de Evolução do dano

O CDP oferece uma capacidade de modelagem progressiva de dano no material. Este dano é uma variável denominada pela letra “ d ” e seu valor é inicialmente zero quando o material se encontra totalmente íntegro e 1 quando totalmente danificado ($0 \leq d \leq 1$). Os fatores de dano d_c e d_t representam a taxa de degradação da rigidez do concreto causada pelo dano no material durante a compressão (esmagamento – *crushing*) e tração (fissuras – *cracking*), respectivamente, sob tensão uniaxial (Figura 2). De acordo com Demin e Fukang (2017) o modelo CDP do concreto no programa ABAQUS é considerado adequado para materiais quase-frágeis (Concreto).

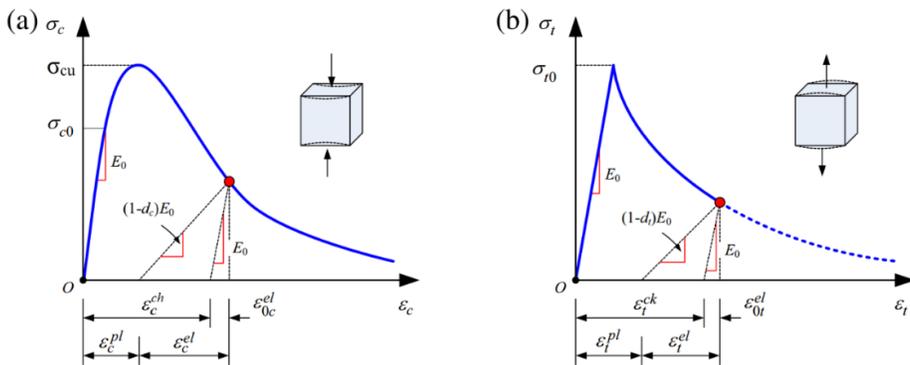


Figura 2 - Tensão x Deformação do CDP do concreto para tensão uniaxial de compressão (a) e de tração (b) (CHI et al. (2017))

A resposta do concreto no diagrama tensão x deformação de compressão uniaxial (Figura 2 (a)) é linear até o valor de tensão de escoamento (σ_{c0}). A partir desta tensão, inicia-se o regime plástico, ocorre assim um aumento na tensão até ser atingida a tensão última (σ_{cu}), por consequência, há uma diminuição no módulo de elasticidade. Como resultado, diminui a tensão e aumenta a deformação. Referente a resposta do concreto na tração (Figura 2 (b)) segue uma relação elástico linear até ser alcançado o valor de tensão de falha (σ_{t0}), no qual a partir deste ponto, inicia-se o surgimento de microfissuras no concreto. Em valores superiores a esta tensão, o gráfico apresenta também uma diminuição do módulo de elasticidade na curva, o que induz a deformação localizada na estrutura de concreto. Consequentemente, diminui a tensão e aumenta a deformação.

Nos diagramas, pode-se notar que há uma mudança de valor no módulo de elasticidade no regime plástico, este valor é denominado de módulo de elasticidade danificado (ou efetivo) (\bar{E}), definido por,

$$\bar{E} = (1-d) \cdot E_0 \quad (\text{Equação 1})$$

onde E_0 é o módulo de elasticidade inicial, elástico ou não danificado. As Equações 2 e 3 apresentam a função do estado de tensões em função da elasticidade inicial, dos tensores de deformação e dos danos na compressão (d_c) e tração (d_t),

$$\sigma_t = (1-d_t)E_0(\varepsilon-\varepsilon^{pl}); \bar{\sigma}_t = E_0(\varepsilon_t-\varepsilon_t^{pl}) \quad (\text{Equação 2})$$

$$\sigma_c = (1-d_c)E_0(\varepsilon-\varepsilon^{pl}); \bar{\sigma}_c = E_0(\varepsilon_c-\varepsilon_c^{pl}) \quad (\text{Equação 3})$$

em que $\bar{\sigma}_t$ e $\bar{\sigma}_c$ são valores de tensão efetiva de tração e compressão, respectivamente. ε é deformação e ε^{pl} é deformação plástica, ambas podem ser de tração (ε_t e ε_t^{pl}) ou compressão (ε_c e ε_c^{pl}).

2.1.2 Critério de Plastificação (Yield criterion)

O modelo CDP faz o uso da função de escoamento de Lubliner et al. (1989), com as modificações propostas por Lee e Fenves (1998). Segundo Chi et al. (2017), esta superfície de escoamento define o estado crítico de tensão, além do qual a deformação plástica se inicia. Os critérios de escoamento que mais são usados para os materiais são os de Mohr-Coulomb e Drucker-Prager e podem ser escritos em termos de tensões efetivas, conforme Equação 4. Esta função faz uso de dois invariantes de tensão do tensor de tensão, tensão hidrostática efetiva \bar{p} e a tensão desviatória \bar{q} . As constantes α , β_1 e γ_a são adimensionais, $\bar{\sigma}_{\max}$ é o valor algébrico máximo das tensões efetivas principais e $\langle \cdot \rangle$ é o operador de Macauley definido como $\langle x \rangle = (|x| + x)/2$. Percebe-se que para $F(\bar{\sigma}) = 0$ existe um início de deformação plástica, enquanto que para deformações elásticas tem-se $F(\bar{\sigma}) < 0$

$$F(\bar{\sigma}) = \frac{1}{1-\alpha} (\bar{q} - 3\alpha\bar{p} + \beta_1(\varepsilon^{pl})\langle \bar{\sigma}_{\max} \rangle - \gamma_a \langle \bar{\sigma}_{\max} \rangle) - \bar{\sigma}_c(\varepsilon_c^{pl}) = 0 \quad (\text{Equação 4})$$

2.1.3 Leis de Encruamento e Amolecimento (Hardening/Softening law)

De acordo com Chi et al. (2017), a regra de encruamento/amolecimento define a forma e a localização da superfície de carga, bem como a resposta do material após escoamento plástico inicial. Para uma compressão e tensão uniaxial (Figura 2), a relação entre a tensão de escoamento e a deformação inelástica é expressa como,

$$\varepsilon_c^{ch} = \varepsilon_c - \varepsilon_{c0}^{el}; \varepsilon_{c0}^{el} = \frac{\sigma_c}{E_0}; \varepsilon_t^{ck} = \varepsilon_t - \varepsilon_{t0}^{el}; \varepsilon_{t0}^{el} = \frac{\sigma_t}{E_0} \quad (\text{Equação 5})$$

em que ε_c^{ch} e ε_t^{ck} são as deformações de esmagamento (*crushing*) a compressão e fissuramento (*cracking*) a tração, respectivamente.

2.1.4 Regra de Escoamento (Flow rule)

De acordo com Lubliner et al. (1989), para materiais granulares, como o concreto, devido as mudanças de deformações plásticas, este material pode exibir mudanças significativas de volume. Para isso, o modelo CDP assume uma função para o potencial

plástico com regra não associativa. A função adotada para o potencial plástico Q para este modelo é baseado na função hiperbólica de Drucker-Prager, dada genericamente pela Equação 6.

$$Q = \sqrt{(mf_t \tan \psi)^2 + \bar{q}^2} - \bar{p} \tan \psi \quad (\text{Equação 6})$$

em que ψ é o ângulo de dilatação medido no plano $p - q$, f_t é a tensão de tração de falha uniaxial e \bar{q} é um parâmetro identificado como a excentricidade. Estes três parâmetros indicam a função hiperbólica do escoamento potencial de Drucker-Prager.

2.2 Modelo Constitutivo para o PRF

No ABAQUS, os compósitos de PRF podem ser nomeados como transversalmente isotrópico, definido pela função *Engineering Constants*. Assim, este material pode ser caracterizado como ortotrópico. De acordo com *Abaqus User's Guide* (2012), sob condições de tensões aplicadas no plano de um elemento *Shell*, somente os valores de E_{11} , E_{22} , ν_{12} , G_{12} , G_{13} e G_{23} são necessários para definir um material ortotrópico (no estado plano de tensões a condição $\sigma_{33} = 0$ deve ser satisfeita). O coeficiente de Poisson ν_{21} é implicitamente dado como $\nu_{21} = (E_{22}/E_{11}) \nu_{12}$. Os módulos de cisalhamento G_{13} e G_{23} estão incluídos porque podem ser necessários para modelar a deformação de cisalhamento transversal no elemento *Shell*. Estes dados podem ser encontrados usando a Lei de mistura definida por Piggott (2002). Piggott (2002) informa que o volume de fibras de um compósito reforçado com fibras (PRF) pode variar de 60 - 70 %.

2.3 Modelo Constitutivo para o Adesivo (Superfície Coesiva)

Baseado nos princípios da mecânica da fratura, Yuan et al. (2004) desenvolveram um modelo teórico que descreve completamente a descolagem do sistema concreto/PRF. Este é um modelo bilinear chamado de *bond-slip*. A tensão de cisalhamento da ligação aumenta linearmente com a deformação da interface até que atinge o pico de tensão (τ_{pico}) e conseqüentemente o início do deslizamento interfacial. Posteriormente, ocorre um amolecimento interfacial (ou surgimento de microfissuras) que reduz a tensão de cisalhamento linearmente com o deslizamento. Quando esta tensão reduz a zero, tem-se o valor do máximo deslizamento suportado pelo sistema (δ_{ult}) e, a partir deste ponto, não é mais possível transferir tensões entre os substratos, caracterizando então o descolamento. Este modelo é descrito na Figura 3.

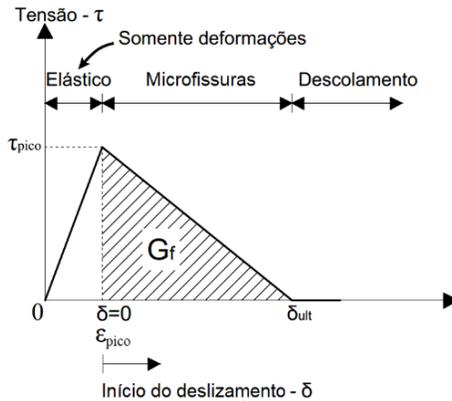
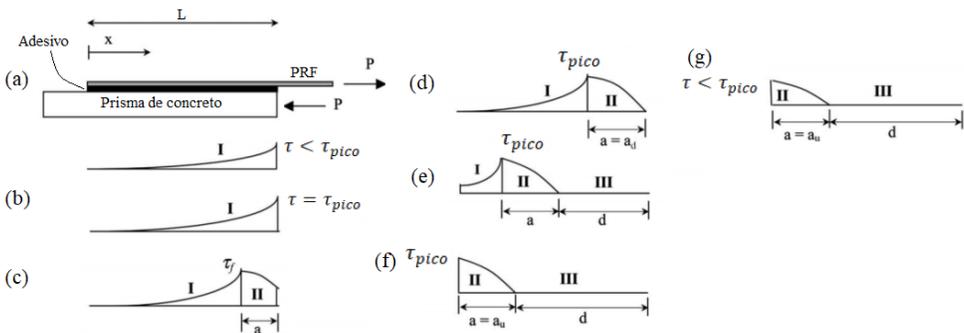


Figura 3 - Modelo bilinear *bond – slip* para a interface adesiva (Adaptado de YUAN et al. (2004))

G_f é a área da região descendente do modelo e significa a energia de fratura da interface. Com o modelo definido, serão apresentados os estágios de descolamento referente a este modelo e a distribuição de tensão de cisalhamento interfacial. Para isso, foi considerado um prisma de concreto e uma amostra de PRF colada ao longo do comprimento (Figura 4).



* em que: a é comprimento de amolecimento, a_u e a_d são comprimentos finais de ligação e na descolagem, respectivamente, d é comprimento descolado.

Figura 4 - Distribuição das tensões de cisalhamento e propagação da descolagem no modelo *bond-slip* (Adaptado de YUAN et al. (2004))

- *Estágio Elástico* (Figura 4 (a) e (b)): Neste ponto não há amolecimento interfacial ou descolagem ao longo da interface PRF/concreto, pois todo o comprimento da interface está em um estado de tensão elástica (Estado I). Isto é verdade desde que a tensão de cisalhamento interfacial em $x = L$ seja menor que τ_{pico} .

- *Estágio Elástico/Amolecimento* (Figura 4 (c) e (d)): Quando a tensão de cisalhamento e o deslizamento atingem valores de pico em $x = L$, o surgimento de microfissuras começa na extremidade carregada do PRF (Estado II) enquanto o restante permanece em fase elástica (Estado I). A carga última (P_u) é atingida pela primeira vez;
- *Estágio Elástico/Amolecimento/Descolamento* (Figura 4 (e)): Neste estágio, a descolagem (ou microfissuras) começa a se propagar ao longo da interface. Conforme a descolagem avança, o pico de cisalhamento se move na direção $x = 0$. Dependendo da localização, a interface pode estar em estado elástico (Estado I), amolecimento (Estado II) ou estado de descolamento (Estado III);
- *Estágio Amolecimento/Descolamento* (Figura 4 (f) e (g)): A máxima tensão de cisalhamento interfacial em $x = 0$ diminui com a aplicação de carga.

As expressões a seguir foram desenvolvidas no intuito de representar este comportamento de deslizamento na interface, disponível em trabalhos de Colalillo e Sheikh (2014).

$$\tau_{\text{pico}} = 1,5\beta_w f_t; \beta_w = \sqrt{\frac{2,25 - w_f/S_f}{1,25 + w_f/S_f}} \quad (\text{Equação 7})$$

$$\delta_{\text{ult}} = \frac{2G_f}{\tau_{\text{pico}}}; G_f = 0,308\beta_w^2 \sqrt{f_t}; \varepsilon_{\text{pico}} = 0,0195\beta_w f_t \quad (\text{Equação 8})$$

Em que, w_f é a largura do compósito, S_f o espaçamento do reforço e f_t a resistência a tração do concreto. Segundo Camanho e Dávila (2002), o início do amolecimento (dano ou deslizamento interfacial) pode ser previsto por um critério de falha quadrático, expresso por,

$$\left(\frac{\sigma_n}{\sigma_n^{\text{pico}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_s}{\tau_s^{\text{pico}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_t}{\tau_t^{\text{pico}}}\right)^2 = 1 \quad (\text{Equação 9})$$

3 I PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O experimento usado nas simulações foi o de Yao, Teng e Chen (2005). Os autores estudaram experimentalmente a resistência ao cisalhamento da ligação Concreto/PRFC em um total de 72 testes. A pesquisa consistiu em avaliar um prisma de concreto com uma faixa de PRF colada em uma das faces do paralelepípedo sendo puxada por uma carga P (teste *pull-out*) (Figura 5). Os parâmetros avaliados foram: comprimento de ligação L_{PRF} , relação entre largura do PRF e largura do prisma de concreto b_{PRF}/b_p e altura livre de concreto h_c .

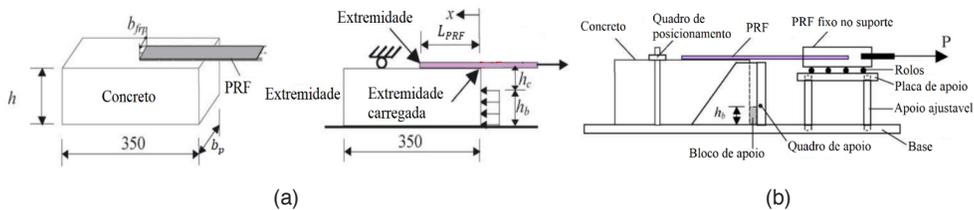


Figura 5 - Configurações do experimento (Dimensões em mm) (Adaptado de YAO, TENG, CHEN (2005))

O tipo de PRF usado foi o polímero reforçado com fibra de carbono (PRFC), com uma espessura de 0,165 mm e módulo de elasticidade de 256 GPa. A concentração do compósito foi adotada como 70% para as fibras e 30% para a matriz (PIGGOTT, 2002) por falta de informações do fabricante. A partir destes dados, foi possível obter os parâmetros do PRFC de acordo com Piggott (2002). Esses valores são apresentados na Tabela 1.

Módulo de elasticidade (GPa)		Módulo de elasticidade transversal (GPa)		Coeficiente de Poisson	
E_{11}	$E_{22} = E_{33}$	$G_{12} = G_{13}$	G_{23}	$\nu_{12} = \nu_{13}$	ν_{23}
256,0	16,6	6,2	5,9	0,24	0,42

Tabela 1 - Dados do PRFC para as análises (Os autores (2020))

Uma carga P (Figura 5 (b)) foi aplicada em um suporte que fixa o PRF até que um modo de falha seja observado, seja esse por *Debonding in Concrete* (DB-C) ou descolagem com retirada de camadas de concreto, *Debonding at adhesive-concrete interface* (DB-I) ou descolagem na interface concreto/adesivo ou ainda por *Concrete Prism Failure* (CPF) ou falha no prisma de concreto. Yao, Teng e Chen (2005) separaram os 72 testes em 7 séries (I, II, III, IV, V, VI, VII), ao qual, para cada série foi variado um parâmetro. Neste artigo, foram escolhidos os testes I-1, I-9, II-5, III-1, V-11, VI-2, VI-3 e VI-7 para as simulações, por apresentarem alguns dos métodos de falha, além de gráficos e fotos dos resultados. Os valores dos parâmetros usados e os resultados obtidos pelos autores se encontram na Tabela 2.

Testes	f'_c (MPa)	b_p (mm)	b_{PRF} (mm)	L_{PRF} (mm)	h_c (mm)	Carga última do teste (kN)	Modo de falha do teste
I-1	23,0	150	25	75	5	4,75	DB-C
I-9	23,0	150	25	190	5	6,35	DB-C
II-5	23,0	150	25	190	120	7,07	DB-C
III-1	27,1	150	25	100	120	5,94	DB-C
V-11	21,1	100	100	95	30	15,57	CPF
VI-2	21,9	150	25	95	60	5,85	DB-I
VI-3	21,9	150	25	145	60	5,76	DB-I
VI-7	21,9	150	25	240	60	5,91	DB-I

Tabela 2 - Detalhes dos testes e resultados experimentais (YAO, TENG, CHEN (2005))

É apresentado na Figuras 6 (a) as condições de contorno do teste e na Figura 6 (b) a discretização dos elementos. As análises foram feitas aplicando uma força pontual em um ponto de referência (*reference point* – RP) nas extremidades do PRFC, criado a partir de um corpo rígido. O algoritmo usado para resolver este tipo de problema foi o *Arc-length*.

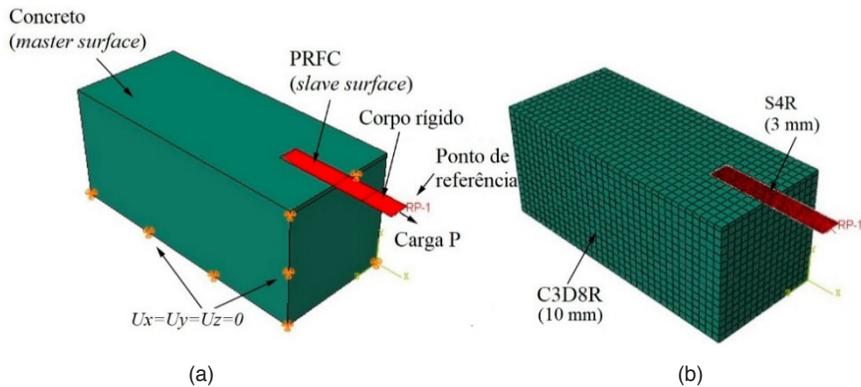


Figura 6 - Condições de contorno (a) e discretização dos elementos (c) (Os autores (2020))

A curva tensão x deformação na compressão foi obtida conforme Carreira e Chu (1986) e tensão x abertura de fissura na tração de acordo com Hordjijk (1992). A resistência a tração do concreto foi calculada usando a Equação de Genikomsou e Polak (2015) ($f_t = 0,33 \sqrt{f_{ck}}$) com Poisson igual a 0,2. O módulo de elasticidade foi estimado usando a norma americana ACI 318 (2014) e a deformação de pico na compressão de acordo com Carreira e Chu (1986). Já a evolução do dano foi calculada conforme Birtel e Mark (2006). Os parâmetros b_c e b_t foram 0,6 e 0,9 respectivamente. Os parâmetros do CDP adotados para a simulação foram de 38° para o ângulo de dilatação (ψ), 0,1 para a excentricidade (m), f_{bo} / f_{co} igual a 1,16, K_c igual a 0,667 e viscosidade (μ) igual a 0,00001. O critério de tensão

nominal quadrática (Equação 11) foi usado como critério de início de dano. Nos ensaios experimentais, Yao, Teng e Chen (2005) encontraram os valores das energias de fratura e as tensões de pico para cada teste. Todos estes dados são apresentados na Tabela 3.

Testes	Rigidez (MPa)		Tensões (MPa)		Energia de Fratura (mJ/mm ²)
	K_{nm}	$K_{ss} = K_{tt}$	σ_n^{pico}	$\tau_s^{pico} = \tau_t^{pico}$	G_f
I-1	3610	1388,5*	39,4	4,13	0,395
I-9	3610	1388,5*	39,4	5,03	0,523
II-5	3610	1388,5*	39,4	7,26	0,580
III-1	3610	1388,5*	39,4	5,20**	0,694**
V-11	3610	1388,5*	39,4	5,10**	0,690**
VI-2, VI-3, VI-7	3610	1388,5*	39,4	6,00**	0,745**

* Calculado por $K_{nm} / 2(1+\nu)$.

**Não fornecido pelos autores. Calculado pelas Equações 7 e 8.

Tabela 3 - Dados para a simulação da superfície coesiva (YAO, TENG, CHEN (2005))

4 | RESULTADOS

4.1 Calibração do Modelo Numérico

Os resultados das simulações numéricas foram analisados e comparados com os experimentais, em termos da carga de falha experimental pela numérica. É exibido na Tabela 4 uma comparação entre as cargas de falha experimental com a numérica. Nota-se uma boa concordância dos resultados.

Testes	Carga de falha experimental P_{exp} (kN)	Carga de falha numérica P_{num} (kN)	Processam. (h)	P_{exp} / P_{num}
I-1	4,75	5,25	00:10	0,91
I-9	6,52	7,00	00:07	0,93
II-5	7,07	6,80	00:12	1,04
III-1	5,94	4,87	00:06	1,22
V-11	15,57	18,90	00:10	0,82
VI-2	5,85	6,09	00:12	0,96
VI-3	5,76	5,90	00:07	0,98
VI-7	5,91	6,36	00:13	0,93
Média aproximada			00:10	0,97

Tabela 4 – Comparação dos testes experimentais com as simulações (Os autores (2020))

As curvas carga x deslocamento dos testes VI-2, VI-3 e VI-7 são mostradas na Figura 7. O deslocamento foi medido a partir do ponto de aplicação de carga, ou seja, o ponto de referência criado para a simulação. A evolução do carregamento foi obtida a partir do *History output*, ao gerar uma curva adimensional de fator de proporcionalidade de carga (LPF) pelo *Arc-length*.

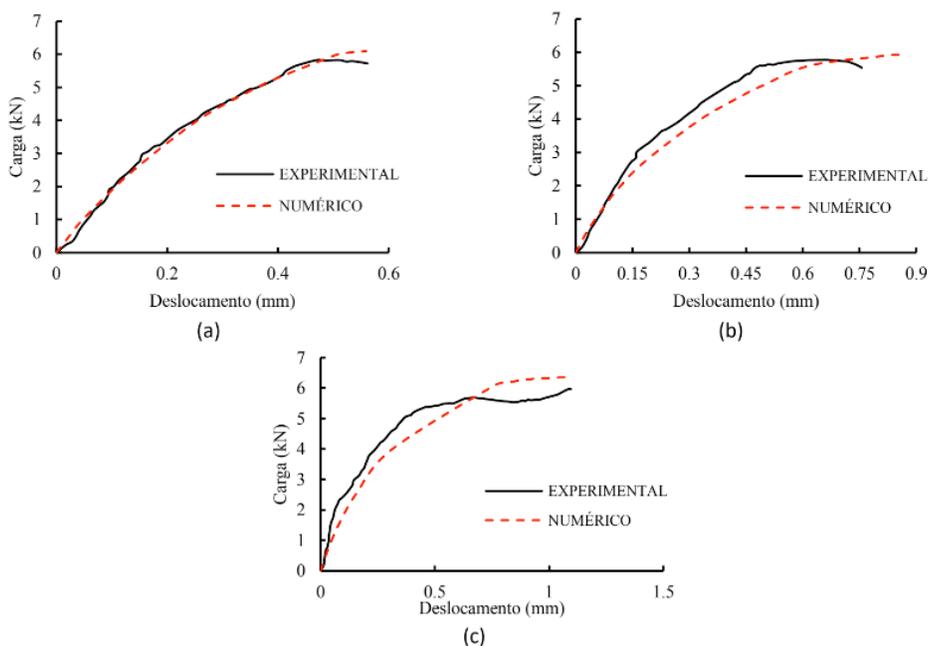


Figura 7 - Curvas carga x deslocamento dos testes VI-2 (a), VI-3 (b) e VI-7 (c) (Os autores (2020))

Daud, Cunningham e Wang (2017) por meio de simulações numéricas e observações experimentais, afirmam que ao aumentar o comprimento aderido à carga final e a tensão de descolagem aumentam. Além disso, Barbieri et al. (2016) alegam que a largura do PRFC também tem grande contribuição na resistência adesiva, como é o caso do teste V-11.

4.2 Modos de Falha

4.2.1 Descolagem com retirada da camada de concreto

Nos testes experimentais I-1, I-9, II-5 e III-1 foi observada a descolagem com retirada da camada de concreto. Como estes testes tiveram o mesmo modo de falha, foi escolhido para representar a simulação o experimento II-5, por apresentar o melhor resultado. Os resultados das simulações mostraram que na região colada, o concreto não atingiu valores

consideráveis de dano a tração, cerca de 0,53. Já o dano a compressão foi bem menor, na faixa de 0,04 nesta mesma região. Neste caso pode-se supor que não houve a falha do concreto e sim, a retirada da massa superficial do prisma, como ocorreu na análise experimental. Esse fato, foi observado principalmente na extremidade de aplicação da carga, onde existiram maiores danos a tração no concreto. A comparação dos resultados desse teste referente ao dano neste material é mostrada na Figura 8.

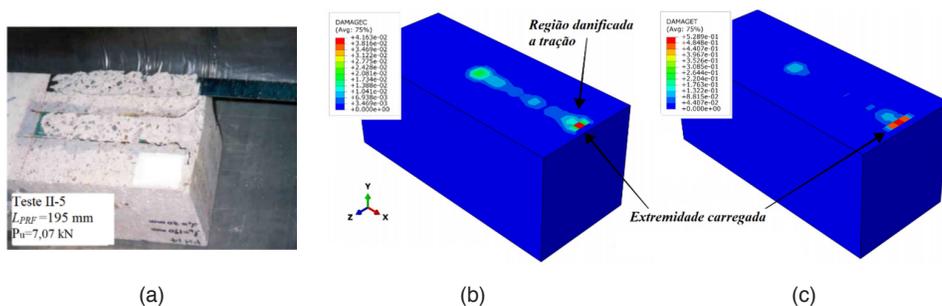


Figura 8 - Falha experimental do teste II-5 (a) e dano a tração (b) e compressão (c) do concreto (YAO, TENG E CHEN (2005); os autores (2020))

Durante o processo de carregamento, as tensões de cisalhamento paralelas a direção de aplicação da carga é definida por S_{12} . Essas, na região colada, apresentam uma evolução de tensões de cisalhamento até atingir valores próximos da tensão máxima de ligação, como mostrado na Figura 4 e também observado por Barbieri et al. (2016). Essa evolução é ilustrada na Figura 9.

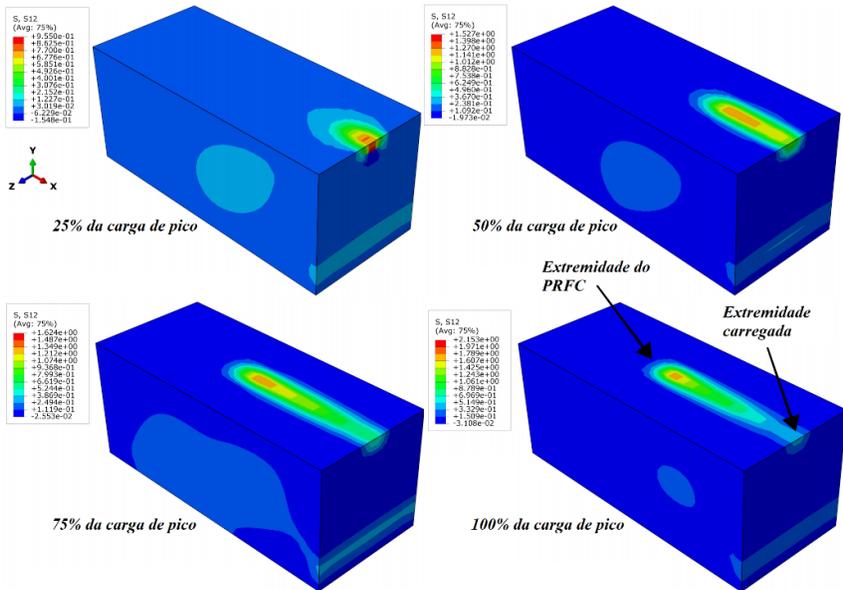


Figura 9 - Evolução das tensões cisalhantes S_{12} (τ_{xy}) no concreto (Teste I-1) (Os autores (2020))

A descolagem (coloração vermelha na Figura 10) tem início pela extremidade carregada do PRFC. Com o aumento das tensões de cisalhamento, o dano tende a aumentar na direção longitudinal do compósito, como na Figura 9. Ao comparar estas duas situações, nota-se que na região descolada, a transferência de tensões S_{12} diminui à medida que o dano avança. A evolução do dano na interface pode ser observada pela Figura 10.

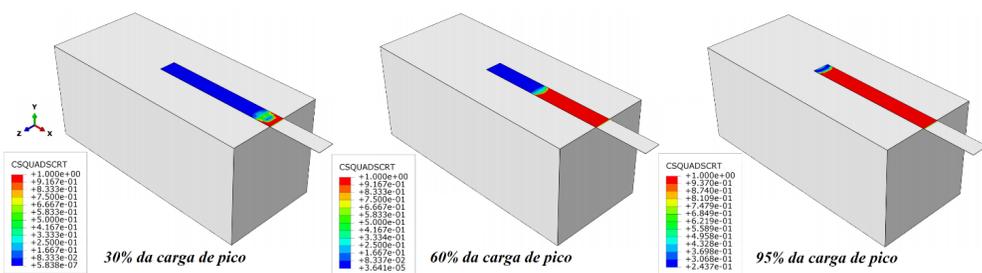


Figura 10 - Evolução do dano na interface adesiva (Teste I-1) (Os autores (2020))

4.2.2 Falha no Prisma de Concreto

Assim como ocorreu no ensaio experimental, a simulação do teste V-11 rompeu no prisma de concreto antes que pudesse ser observada a falha na interface adesiva. É apresentado na Figura 11 a comparação do dano a tração e compressão. Nessa, o dano

a tração foi mais evidente desde o início do carregamento com 0,77 em 25% da carga de pico e 0,93 com 100% do processo. Praticamente não houve dano a compressão, sendo atingido apenas 0,20 de dano.

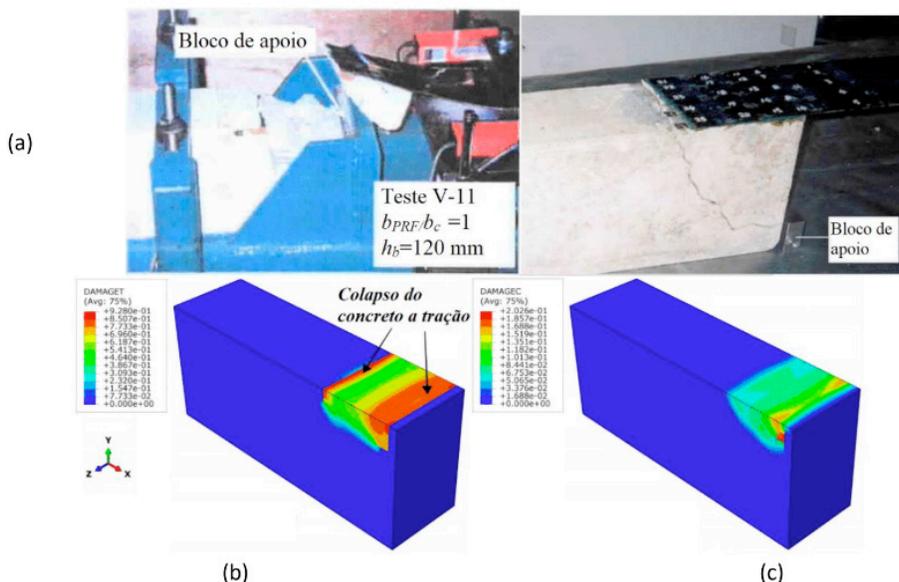


Figura 11 - Falha experimental do teste V-11 (a) e evolução do dano na tração (b) e compressão (c) (YAO; TENG; CHEN (2005); os autores (2020))

A evolução das tensões S_{12} no prisma de concreto é mostrado na Figura 12 (a). Ao contrário dos resultados anteriores, a simulação do ensaio V-11 não obteve uma propagação das tensões de cisalhamento tão evidente. Esse fato pode ser comprovado comparando a evolução do dano na interface (Figura 13) com o desenvolvimento do dano a tração no concreto (Figura 11 (b)). Ocorreram grandes concentrações de tensão de tração no concreto desde a extremidade do PRFC até a extremidade carregada. A formação de um plano de fratura entre a extremidade do compósito e a parte superior do bloco de apoio pode ser observada na Figura 12 (b). Segundo resultados experimentais, a falha tem início com fissuras no prisma de concreto próximas a extremidade do PRFC. Ao aparecer as primeiras fissuras, estas se propagaram quase que imediatamente em direção a borda superior do bloco de apoio.

Desde o início do carregamento, o concreto sofreu grandes danos de tração e com pouco mais de 50% do carregamento, o prisma atingiu um dano pouco maior de 0,8. Se comparado com a evolução da descolagem na Figura 13, só foi observada esta falha depois de ter sido aplicado o carregamento máximo ao sistema.

Mesmo com o concreto danificado e provavelmente em colapso, o *software* continua

a incrementar carregamento ao PRFC, pois o compósito ainda se encontra aderido a face do prisma. A característica do desenvolvimento da descolagem é semelhante ao teste I-1.

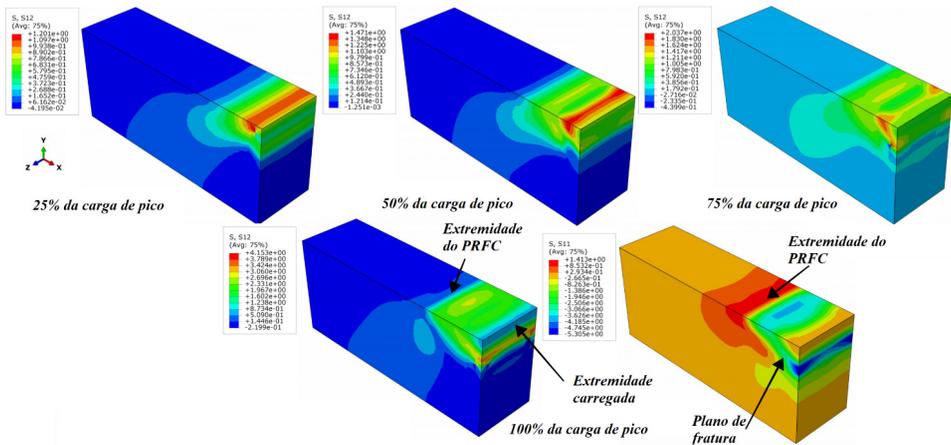


Figura 12 - Evolução das tensões normais S_{11} (τ_{xx}) (a) e cisalhantes S_{12} (τ_{xy}) (b) no concreto (Teste V-11) (Os autores (2020))

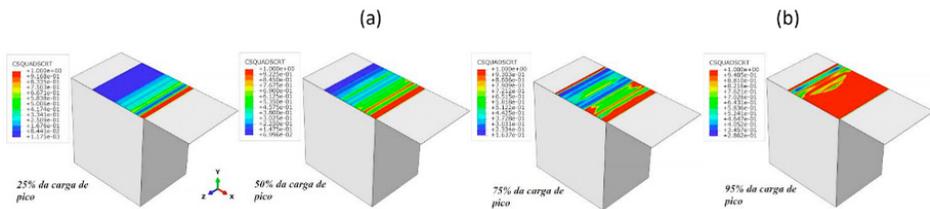


Figura 13 - Evolução do dano na interface adesiva (Teste V-11) (Os autores (2020))

4.2.3 Descolagem na interface concreto/adesivo

Os testes VI-2, VI-3 e VI-7 sofreram o colapso da interface concreto/adesivo. Os três obtiveram o mesmo modo de falha, logo optou por apresentar os resultados apenas de uma simulação. Os resultados escolhidos foram do teste VI-2, por apresentar um comportamento muito semelhante ao experimental da curva carga x deslocamento. Como nos testes com resultados DB-C, houveram pequenos valores de dano a tração, cerca de 0,63. Já a compressão, esse parâmetro foi ainda menor, cerca de 0,08. Assim, o comportamento do prisma de concreto foi muito semelhante aos testes I-1, I-9, II-5 e III-1, não sendo possível observar grandes diferenças. Confrontando com o experimental, também foi observado um arrancamento da extremidade de aplicação da carga, onde existiu maiores danos a tração no concreto. A comparação dos resultados do teste VI-2 referente ao dano no material é ilustrada na Figura 14. Como Yao, Teng e Chen (2005) não disponibilizaram a foto do

experimento, esta verificação procedeu com as fotos dos testes VI-3 e VI-7.

Com relação aos demais resultados, dano no adesivo e evolução das tensões de cisalhamento S_{12} (τ_{xy}), o comportamento permaneceu quase idêntico aos testes com descolagem e retirada da camada de concreto (DB-C).

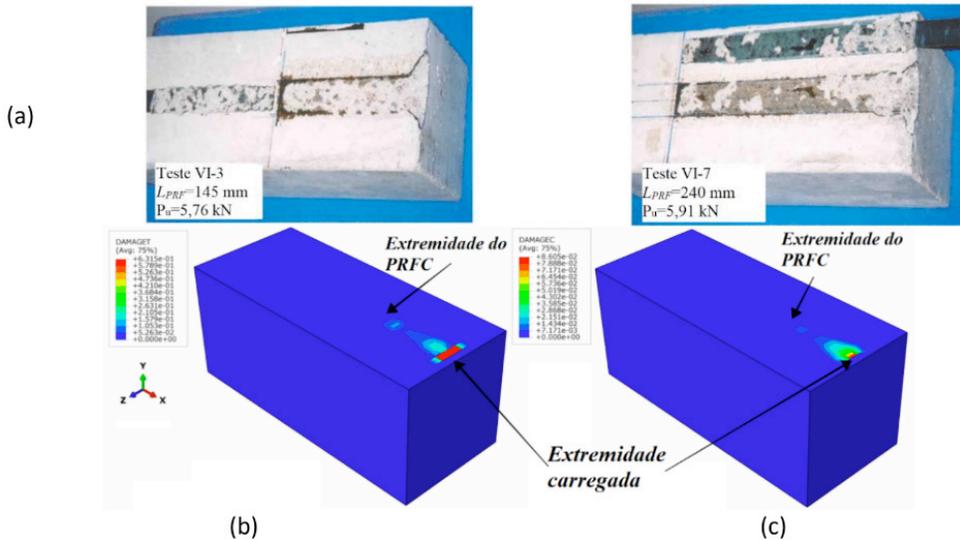


Figura 14 - Falha experimental do teste VI-3 e VI-7 (a) e dano a tração (b) e compressão (c) do concreto (YAO; TENG; CHEN (2005); O autor (2020))

5 I CONCLUSÃO

O presente estudo é uma contribuição à verificação do comportamento da interface adesiva, representação do cisalhamento em concreto e a interação com as lâminas de reforço em estruturas reforçadas externamente ao cisalhamento com PRFC. O trabalho se desenvolveu por meio de simulações numéricas usando o *software* ABAQUS, baseadas em estudos experimentais.

As simulações dos testes de cisalhamento simples foram realizadas com o intuito de verificar o comportamento da interface adesiva frente ao modelo utilizado. Os resultados foram muito satisfatórios e apresentaram grande semelhança ao experimental. Assim como a evolução das tensões no modelo *bond - slip* para o adesivo, foi possível notar esse fato nos resultados das simulações por meio das tensões de cisalhamento. A evolução do dano foi da extremidade carregada do PRFC até a extremidade livre, mostrando um desempenho semelhante em todas as simulações. À medida que o dano avança, as tensões de cisalhamento diminuíam, o que comprova novamente o modelo exemplificado anteriormente. Pode ser observado que a resistência ao descolamento está relacionada ao comprimento de adesão no substrato (neste caso, o concreto) e a largura do compósito.

Além disso, quanto maior a largura do PRFC, maior o dano gerado no substrato.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ACI COMMITTEE 318. **ACI 318-14**: Building Code Requirements for Structural Concrete and **ACI 318R-14**: Commentary. American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 2014, 443 p.

BARBIERI, G. et al. Size and shape effect in the pull-out of FRP reinforcement from concrete. **Composite Structures**, v. 143, p. 395–417, 2016.

BIRTEL, V.; MARK, P. Parameterised Finite Element Modelling of RC Beam Shear Failure. **Abaqus User's Conference**, p. 95–108, 2006.

CAMANHO, P. P.; DÁVILA, C. G. Mixed-Mode Decohesion Finite Elements for the Simulation of Delamination in Composite Materials. **Nasa/Tm-2002-211737**, p. 42, 2002.

CARREIRA, D. J.; CHU, K. H. Stress-Strain Relationship for Plain Concrete in Compression. **ACI Structural Journal**, n. 82-72, p. 797–804, 1986.

COLALILLO, M. A.; SHEIKH, S. A. Behavior of shear-critical reinforced concrete beams strengthened with fiber-reinforced polymer-Experimentation. **ACI Structural Journal**, v. 111, n. 6, p. 1373–1384, 2014.

CHI, Y. et al. Finite element modeling of steel-polypropylene hybrid fiber reinforced concrete using modified concrete damaged plasticity. **Engineering Structures**, v. 148, p. 23–35, 2017.

DAUD, R. A.; CUNNINGHAM, L. S.; WANG, Y. C. New model for post-fatigue behaviour of CFRP to concrete bond interface in single shear. **Composite Structures**, v. 163, p. 63–76, 2017.

DEMIN, W.; FUKANG, H. Investigation for plastic damage constitutive models of the concrete material. **Procedia Engineering**, v. 210, p. 71–78, 2017.

GENIKOMSOU, A. S.; POLAK, M. A. Finite element analysis of punching shear of concrete slabs using damaged plasticity model in ABAQUS. **Engineering Structures**, v. 98, p. 38–48, 2015.

HORDIJK, D. A. Tensile and tensile fatigue behaviour of concrete; Experiments, modeling and analyses. **TNO Building and Construction Research**, v. 37, n. 1, 79 p. 1992.

LEE, J.; FENVES, G. L. Plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures. **Journal of Engineering Mechanics**, v. 124, n. 8, p. 892–900, 1998.

LUBLINER, J.; OLIVER, J.; OLLER, S.; OÑATE, E. A plastic-damage model for concrete. **International Journal of Solids and Structures**, v. 25, n. 3, p. 299–326, 1989.

MACHADO, A. P.; MACHADO, B. A. **Reforço de estruturas de concreto armado com sistemas compostos FRP: Teoria e prática**. São Paulo: PINI, 2015.

MAZZOTTI, C.; SAVOIA, M.; FERRACUTI, B. A new single-shear set-up for stable debonding of FRP-concrete joints. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 4, p. 1529–1537, 2009.

PIGGOT, M. **Load Bearing Fibre Composites**. Toronto: Kluwer Academic Publishers, 2 ed. 2002, 475 p.

YAO, J.; TENG, J. G.; CHEN, J. F. Experimental study on FRP-to-concrete bonded joints. **Composites Part B: Engineering**, v. 36, n. 2, p. 99–113, 2005.

YUAN, H. et al. Full-range behavior of FRP-to-concrete bonded joints. **Engineering Structures**, v. 26, n. 5, p. 553–565, 2004.

ZHANG, P. et al. Experimental and numerical investigation of debonding process of the FRP plate-concrete interface. **Construction and Building Materials**, v. 235, p. 117457, 2020.

SOBRE OS ORGANIZADORES

JOÃO DALLAMUTA - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Doutorando em Engenharia Espacial pelo INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

HENRIQUE AJUZ HOLZMANN - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

RENNAN OTAVIO KANASHIRO - Professor na Universidade Norte do Paraná (Unopar). Graduação e Mestrado em Engenharia Mecânica pela UTFPR. Trabalha com temas: Identificação de Sistemas, Problema Inverso e Otimização

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aerodesign 1, 2, 3, 9

Aeronave 10, 11, 12, 14, 16

Análise CFD 1

Articulação 1, 168

C

Construção sustentável 103

D

Degradação 36, 103, 126, 132, 133, 135, 136, 137, 143, 144, 145, 149, 150, 175, 243

Direito ao saneamento básico 124, 125, 126, 128, 129, 130

Dosagem físico-química 151, 152, 154, 155, 159, 160, 161, 162, 163, 164

Drywall 87, 88, 89, 100

E

Eficiência energética 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 173

Energia solar fotovoltaica 63, 64, 174, 180

Energias renováveis 63, 73, 165, 166, 167, 169, 170, 171, 173

Estabilidade 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 35, 36, 78, 79, 81, 152, 186

Estabilização 78, 84, 86, 87, 88, 94, 96, 97, 100, 101, 152, 159, 160, 161, 162, 163, 199, 205

F

Fachada 132, 133, 135, 136, 137, 138, 139, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 232

G

Geossintéticos 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86

Geotecnia 17, 75, 76, 82, 84

Gesso 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98, 99, 100, 101, 105

Gestão 35, 44, 103, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 172, 259

H

Headcount 49, 53, 55, 57, 60, 61

L

LED 63, 64, 65, 66, 67, 68, 72, 73

Logística ferroviária 49

M

Melhoramento de solos 75

Momento 1, 13, 16, 50, 171, 227

P

Passagem em jornada 49, 51

Pavimento 20, 22, 26, 27, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 42, 43, 45, 46, 48, 76, 81, 84, 105, 151, 152, 163, 164

Plasticidade 78, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 99, 100, 101, 154, 242

Projeto 1, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 19, 21, 29, 30, 33, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 43, 44, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 76, 79, 85, 126, 127, 130, 133, 136, 163, 168, 169, 209, 221, 224

R

Resíduo de construção civil 151, 154

Resíduos 56, 58, 59, 60, 83, 87, 88, 89, 102, 103, 104, 105, 106, 205, 206

Resíduos plásticos 102, 103, 104, 105, 106

Resistência à compressão simples 151, 152, 157, 161, 162, 163

Revestimento cerâmico 132, 133, 137, 138, 139, 140, 142, 143, 144, 147

S

Saneamento básico em São Desidério 124

SERENS 165, 166, 167, 169, 170, 171, 172, 173, 174

Serviços públicos de saneamento básico 124, 125, 127, 128, 130, 131

Simulação numérica 1, 240

Sistemas autônomos puros CC 63

Solo-cimento 151, 152, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164

Solos 35, 46, 47, 75, 76, 78, 80, 85, 87, 89, 90, 91, 93, 96, 97, 101, 151, 153, 154, 156, 158, 159, 161, 162, 163, 164

Sustentabilidade 30, 33, 34, 48, 102, 106, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 180

T

Transporte hidroviário 32

V

Volume de cargas 49

X

XFLR5 10, 11, 12, 16

Engenharias:

Da Genialidade à Profissão e
seu Desenvolvimento

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021

Engenharias:

Da Genialidade à Profissão e
seu Desenvolvimento



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

 **Atena**
Editora

Ano 2021