

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

 **Atena**
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2



ERNANE ROSA MARTINS
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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

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

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

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

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

Ciências Biológicas e da Saúde

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

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

Linguística, Letras e Artes

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

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Giovanna Sandrini de Azevedo
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Ernane Rosa Martins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia de computação 2 / Organizador Ernane Rosa Martins. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-384-9

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.849211808>

1. Engenharia da computação. I. Martins, Ernane Rosa (Organizador). II. Título.

CDD 621.39

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; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

APRESENTAÇÃO

A Engenharia de Computação é a área que estuda as técnicas, métodos e ferramentas matemáticas, físicas e computacionais para o desenvolvimento de circuitos, dispositivos e sistemas. Esta área tem a matemática e a computação como seus principais pilares. O foco está no desenvolvimento de soluções que envolvam tanto aspectos relacionados ao software, quanto à elétrica/eletrônica. Os profissionais desta área são capazes de atuar principalmente na integração entre software e hardware, tais como: automação industrial e residencial, sistemas embarcados, sistemas paralelos e distribuídos, arquitetura de computadores, robótica, comunicação de dados e processamento digital de sinais.

Dentro deste contexto, esta obra aborda diversos aspectos tecnológicos computacionais, tais como: implementação e modificações numéricas a serem feitas no algoritmo de Anderson (2010) para simular o escoamento sobre uma asa finita submetida a ângulos de ataque próximos ao estol; modelo distribuído para analisar a influência da formação e do adensamento de geadas sobre o desempenho de evaporadores do tipo tubo-aletado, comumente usados em refrigeradores frost-free; um algoritmo de Redes Neurais Convolucionais (CNN) que identifica se a pessoa está ou não utilizando a máscara; potencialidades do M-Learning e Virtual Reality no curso técnico em Agropecuária; avaliação da qualidade da energia elétrica em um sistema de geração de energia fotovoltaica; uma abordagem para a segmentação de imagens cerebrais, utilizando o método baseado em algoritmos genéticos pelo método de múltiplos limiares; estudo numérico de uma âncora torpedo sem aletas cravada em solo isotrópico puramente coesivo, utilizando um modelo axissimétrico não-linear em elementos finitos; estudo acerca da análise numérica de placas retangulares por meio do método das diferenças finitas, obtendo soluções aproximadas para o campo de deslocamentos transversais bem como os correspondentes momentos fletores, para problemas envolvendo uma série de condições de contorno, utilizando-se o software Matlab® para simulação; desenvolvimento e aplicação da Realidade Virtual (RV) como Tecnologia de Informação e Comunicação (TIC) para auxiliar no processo de ensino-aprendizado de disciplinas do Ensino Médio; avaliação dos resultados obtidos em campanhas de medição de qualidade da energia elétrica (QEE) na rede básica em 500 kV; examinar o comportamento mecânico-estático de uma longarina compósita projetada para uma aeronave esportiva leve através de investigações numéricas, empreendidas em software (ANSYS Release 19.2) comercial de elementos finitos; construção de um sistema para monitoramento de ativos públicos; a relação da Sociedade 5.0 envolvida no contexto da Indústria 4.0 e a Transformação Digital; algoritmos de seleção e de classificação de atributos, identificando as vinte principais características que contribuem para o desempenho alto ou baixo dos estudantes; a Mask R-CNN, utilizada para a segmentação de produtos automotivos (parabrisas, faróis, lanternas, para-choques e retrovisores) em uma empresa do ramo de reposição automotiva; o nível de usabilidade do aplicativo protótipo

para dispositivo móvel na área da saúde voltado ao auxílio do monitoramento móvel no uso de medicamentos em seres humanos.

Sendo assim, esta obra é significativa por ser composta por uma gama de trabalhos pertinentes, que permitem aos seus leitores, analisar e discutir diversos assuntos importantes desta área. Por fim, desejamos aos autores, nossos mais sinceros agradecimentos pelas significativas contribuições, e aos nossos leitores, desejamos uma proveitosa leitura, repleta de boas reflexões.

Ernane Rosa Martins

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

NONLINEAR LIFTING LINE IMPLEMENTATION AND VALIDATION FOR AERODYNAMICS AND STABILITY ANALYSIS

André Rezende Dessimoni Carvalho

Pedro Paulo de Carvalho Brito

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118081>

CAPÍTULO 2..... 11

INFLUÊNCIA DA FORMAÇÃO DE GEADA EM EVAPORADORES DE TUBO ALETADO USANDO UM MODELO DISTRIBUÍDO

Caio Cezar Neves Pimenta

André Luiz Seixlack

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118082>

CAPÍTULO 3..... 24

INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE SEÇÕES DE CONECTORES NA EFICIÊNCIA DA RUPTURA POR SEÇÃO LÍQUIDA EM CANTONEIRA DE CHAPA DOBRADA

Jéssica Ferreira Borges

Luciano Mendes Bezerra

Francisco Evangelista Jr

Valdeir Francisco de Paula

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118083>

CAPÍTULO 4..... 37

INFORMATION THEORY BASED STOCHASTIC HETEROGENEOS MULSTISCALE

Ianyqui Falcão Costa

Liliane de Allan Fonseca

Ézio da Rocha Araújo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118084>

CAPÍTULO 5..... 59

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA IDENTIFICAR O USO DE MÁSCARA NA PREVENÇÃO DA COVID-19

Roberson Carlos das Graças

Edyene Cely Amaro Oliveira

Guilherme Ribeiro Brandao

Igor Siqueira da Silva

Samara de Jesus Duarte

Samara Lana da Rocha

Hermes Francisco da Cruz Oliveira

Guilherme Henrique Chaves Batista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118085>

CAPÍTULO 6..... 67

ANÁLISE DE DESEMPENHO MECÂNICO DE PLACAS A PARTIR DE MÉTODOS APROXIMADOS

Gabriel de Bessa Spínola
Edmilson Lira Madureira
Eduardo Morais de Medeiros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118086>

CAPÍTULO 7..... 85

M-LEARNING E VIRTUAL REALITY NO ENSINO TÉCNICO DE AGROPECUÁRIA

Gabriel Pinheiro Compto
Jeconias Ferreira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118087>

CAPÍTULO 8..... 95

MODELLING AND ANALYSIS OF AEROBOAT JAHU

João B. de Aguiar
Júlio C.S. Sousa
José M. de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118088>

CAPÍTULO 9..... 113

MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA EM SISTEMA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA - ANÁLISE DAS CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE TENSÃO E CORRENTE E CARACTERÍSTICAS DE INJEÇÃO DE HARMÔNICOS DOS SISTEMAS DE BAIXA, MÉDIA E ALTA TENSÃO

Nelson Clodoaldo de Jesus
João Roberto Cogo
Luiz Marlus Duarte
Jesus Daniel de Oliveira
Luis Fernando Ribeiro Ferreira
Éverson Júnior de Mendonça
Leandro Martins Fernandes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.8492118089>

CAPÍTULO 10..... 127

OTIMIZAÇÃO MULTI-LIMAR PARA SEGMENTAÇÃO DE MRI POR ALGORÍTIMO GENÉTICO

Tiago Santos Ferreira
Paulo Fernandes da Silva Júnior
Ewaldo Eder Carvalho Santana
Mauro Sérgio Silva Pinto
Jayne Muniz Fernandes
Ana Flávia Chaves Uchôa
Jarbas Pinto Monteiro Guedes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180810>

CAPÍTULO 11..... 138

ANÁLISE NUMÉRICA DA CAPACIDADE DE CARGA DE ÂNCORAS TORPEDO CONSIDERANDO EFEITOS DE SETUP

Guilherme Kronemberger Lopes

José Renato Mendes de Sousa

Gilberto Bruno Ellwanger

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180811>

CAPÍTULO 12..... 156

ANÁLISE NUMÉRICA DE PLACAS EM ESTRUTURAS AEROESPACIAIS POR DIFERENÇAS FINITAS

Júlio César Fiorin

Reyolando Manoel Lopes Rebello da Fonseca Brasil

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180812>

CAPÍTULO 13..... 172

NUMERICAL SIMULATION OF LABYRINTH SEALS FOR PULSED COMPRESSION REACTORS (PCR)

Hermann Enrique Alcázar Rojas

Briam Rudy Velasquez Coila

Arioston Araújo de Moraes Júnior

Leopoldo Oswaldo Alcázar Rojas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180813>

CAPÍTULO 14..... 183

PRÁTICAS E CONTROLE DA CORRUPÇÃO NO MERCADO SEGURADOR: UMA PROPOSTA DE DADOS PARA SISTEMAS DE CONTROLE E COMPLIANCE

Lucas Cristiano Ferreira Alves

Melissa Mourão Amaral

Liza Dantas Noguchi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180814>

CAPÍTULO 15..... 198

PREDICTING EFFECTIVE CONSTITUTIVE CONSTANTS FOR WOVEN-FIBRE COMPOSITE MATERIALS

Jonas Tieppo da Rocha

Tales de Vargas Lisbôa

Rogério José Marczak

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180815>

CAPÍTULO 16..... 210

PREVENTING SPURIOUS ARTIFACTS WITH CONSISTENT INTERPOLATION OF PROPERTIES BETWEEN CELL CENTERS AND VERTICES IN TWO-DIMENSIONAL RECTILINEAR GRIDS

Alexandre Antonio de Oliveira Lopes

Flávio Pereira Nascimento

Francisco Ismael Pinillos Nieto
Túlio Ligneul Santos
Alberto Barbosa Júnior
Luca Pallozzi Lavorante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180816>

CAPÍTULO 17..... 230

REALIDADE VIRTUAL APLICADA COMO FERRAMENTA DE AUXÍLIO AO ENSINO

Simone Silva Frutuoso de Souza
Everton Welter Correia
Gabrielly Chiquezi Falcão
Leonardo Plaster Silva
Érica Baleroni Pacheco
Fábio Roberto Chavarette
Fernando Parra dos Anjos Lima

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180817>

CAPÍTULO 18..... 245

RESULTADOS DE CAMPANHAS DE MEDIÇÃO DE QUALIDADE DA ENERGIA EM SISTEMAS COM COMPENSADORES ESTÁTICOS DE REATIVOS - ANÁLISE DO IMPACTO DE OUTROS AGENTES NA AMPLIFICAÇÃO DE HARMÔNICOS EM SISTEMA DE 500 kV

Nelson Clodoaldo de Jesus
João Roberto Cogo
Luis Fernando Ribeiro Ferreira
Luiz Marlus Duarte
Éverson Júnior de Mendonça
Leandro Martins Fernandes
Jesus Daniel de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180818>

CAPÍTULO 19..... 258

SIMPLIFIED NUMERICAL MODEL FOR ANALYSIS OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAMS WITH PARTIAL INTERACTION

Samuel Louzada Simões
Tawany Aparecida de Carvalho
Ígor José Mendes Lemes
Rafael Cesário Barros
Ricardo Azoubel da Mota Silveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180819>

CAPÍTULO 20..... 266

SIMULAÇÃO DE UMA LONGARINA COMPÓSITA DE UMA AERONAVE ESPORTIVA LEVE

Felipe Silva Lima
Álvaro Barbosa da Rocha
Daniel Sarmento dos Santos

Wanderley Ferreira de Amorim Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180820>

CAPÍTULO 21.....279

SISTEMA RFID PARA CONTROLE DE ATIVOS PÚBLICOS

João Felipe Fonseca Nascimento

Jislane Silva Santos de Menezes

Jean Louis Silva Santos

Jennysson D. dos Santos Júnior

Luccas Ribeiro Cruz

Jean Carlos Menezes Oliveira

João Marcos Andrade Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180821>

CAPÍTULO 22.....292

SISTEMAS ESTRUTURAIS CONVENCIONAIS E SISTEMAS DE LAJES LISAS EM EDIFÍCIOS DE CONCRETO ARMADO

Pablo Juan Lopes e Silva Santos

Carlos Henrique Leal Viana

Sávio Torres Melo

Rebeka Manuela Lobo Sousa

Tiago Monteiro de Carvalho

Thiago Rodrigues Piauilino Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180822>

CAPÍTULO 23.....303

SOCIEDADE 5.0 CORRELACIONADA COM A INDÚSTRIA 4.0 E A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

Pablo Fernando Lopes

Thiago Silva Souza

Fernando Hadad Zaidan

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180823>

CAPÍTULO 24.....313

TÉCNICA DE DIAGNÓSTICO DE BARRAS QUEBRADAS EM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO SEM CARGA POR MEIO DA TRANSFORMADA WAVELET

Carlos Eduardo Nascimento

Cesar da Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180824>

CAPÍTULO 25.....332

UNCERTAINTY QUANTIFICATION OF FRACTURE POTENTIAL AT CONCRETE-ROCK INTERFACE

Mariana de Alvarenga Silva

Francisco Evangelista Junior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180825>

CAPÍTULO 26.....	342
USANDO MINERAÇÃO DE DADOS PARA IDENTIFICAR FATORES MAIS IMPORTANTES DO ENEM DOS ÚLTIMOS 22 ANOS	
Jacinto José Franco	
Fernanda Luzia de Almeida Miranda	
Davi Stiegler	
Felipe Rodrigues Dantas	
Jacques Duílio Brancher	
Tiago do Carmo Nogueira	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180826	
CAPÍTULO 27.....	355
ARTIFICIAL INTELLIGENCE USAGE FOR IDENTIFYING AUTOMOTIVE PRODUCTS	
Leandro Moreira Gonzaga	
Gustavo Maia de Almeida	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180827	
CAPÍTULO 28.....	366
UTILIZAÇÃO DE APLICATIVO PARA DISPOSITIVO MÓVEL PARA ADMINISTRAÇÃO DE MEDICAMENTOS	
Luísa de Castro Guterres	
Allan Rafael da Silva Lima	
Wender Antônio da Silva	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180828	
CAPÍTULO 29.....	399
VIBRATIONS ANALYSIS UNCOUPLED AND COUPLED FLUID-STRUCTURE BETWEEN SHELL AND ACOUSTIC CAVITY CYLINDRICAL FOR VARIOUS BOUNDARY CONDITIONS	
Davidson de Oliveira França Júnior	
Lineu José Pedroso	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.84921180829	
SOBRE O ORGANIZADOR.....	410
ÍNDICE REMISSIVO.....	411

INFLUÊNCIA DA FORMAÇÃO DE GEADA EM EVAPORADORES DE TUBO ALETADO USANDO UM MODELO DISTRIBUÍDO

Data de aceite: 02/08/2021

Caio Cezar Neves Pimenta

Department of Mechanical Engineering
Santo Antônio da Barra, GO – Brazil
<http://lattes.cnpq.br/5842214559502448>

André Luiz Seixlack

Department of Mechanical Engineering
Ilha Solteira, SP – Brazil
<http://lattes.cnpq.br/8658860438651895>

RESUMO: Neste trabalho apresenta-se um modelo distribuído para analisar a influência da formação e do adensamento de geada sobre o desempenho de evaporadores do tipo tubo-aletado, comumente usados em refrigeradores *frost-free*. As equações fundamentais de conservação da massa, da quantidade de movimento e de conservação de energia são usadas para modelar o escoamento do fluido refrigerante. A equação da conservação da energia na parede do tubo também é resolvida, para o cálculo da distribuição de temperatura ao longo dessa parede. Do lado do ar, os princípios de conservação da massa, quantidade de movimento e de conservação da energia são empregados para simular a formação e crescimento da geada sobre a superfície do evaporador. O sistema de equações governantes é integrado numericamente e resolvido iterativamente por substituições sucessivas. Os resultados obtidos pelo modelo apresentam boa concordância em relação aos dados experimentais disponíveis

na literatura. Considerando toda faixa analisada de temperatura do refrigerante na entrada do evaporador, $-25,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-20,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, os desvios absolutos médios entre os resultados calculados e os dados experimentais em relação à capacidade de refrigeração do evaporador e à massa de geada formada são, respectivamente, 8,1% e 6,0%.

PALAVRAS - CHAVE: Evaporador de tubo-aletado. Formação de geada. Refrigerador doméstico. Modelo distribuído. Desempenho.

ABSTRACT: This work presents a distributed model to analyze the influence of frost formation and thickening on the performance of tube-finned evaporators, commonly used in frost-free refrigerators. The fundamental equations of conservation of mass, amount of movement and conservation of energy are used to model the flow of refrigerant. The energy conservation equation on the tube wall is also solved, for calculating the temperature distribution along this wall. On the air side, the principles of conservation of mass, amount of movement and conservation of energy are employed to simulate the formation and growth of frost on the surface of the evaporator. The system of governing equations is integrated numerically and solved iteratively by successive substitutions. The results obtained by the model are in good agreement with the experimental data available in the literature. Considering the entire analyzed range of refrigerant temperature at the evaporator inlet, $-25.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-20.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, the mean absolute deviations between the calculated results and the experimental data in relation to the evaporator's cooling capacity and mass of

frost formed are, respectively, 8.1% and 6.0%.

KEYWORDS: Tube-fin evaporator. Frost formation. Household refrigerator. Distributed model. Performance.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente sistemas de refrigeração são imprescindíveis tanto em termos de conforto térmico, garantindo boas condições térmicas, quanto em relação à conservação de gêneros alimentícios, garantindo a qualidade dos produtos por meio da conservação em baixas temperaturas. A maioria dos sistemas de refrigeração atual utiliza o ciclo de refrigeração por compressão a vapor, constituídos por quatro dispositivos principais: compressor, condensador, evaporador e um dispositivo de expansão ou válvula de expansão.

Quando esses evaporadores operam em temperaturas próximas a temperatura de a -10 °C ficam sujeitos a um fenômeno físico inevitável e indesejável: a formação de geada em suas superfícies. A geada é um meio poroso formado pela sublimação do vapor d'água em pressões menores do que a do ponto triplo da água. Com o equipamento em funcionamento o acúmulo de geada, dependendo da sua espessura, aumenta a resistência térmica entre os tubos e o escoamento do ar, dificulta o escoamento do ar ao longo do evaporador e, conseqüentemente, reduz sua capacidade de refrigeração. Em razão disso, as temperaturas do compartimento refrigerado aumentam e o compressor permanece ligado por mais tempo, o que aumenta o consumo de energia do refrigerador. Para reduzir o problema, periodicamente, uma resistência elétrica é acionada para o degelo da superfície do evaporador. Entretanto, esse procedimento também contribui com o aumento do consumo de energia do refrigerador (KNABBEN, 2010) [4].

A formação de geada na superfície de evaporadores é um assunto que há muito tempo desperta interesse de vários pesquisadores em razão de sua influência sobre o desempenho desses trocadores de calor. Reduções de até 40 % foram observadas na capacidade de refrigeração de evaporadores de tubo-aletado em razão da formação de geada (SILVA, 2012) [8].

Hayashi *et al.* (1977) [1] avaliaram experimentalmente o processo de formação de geada em placas planas, com o intuito de obter uma relação entre as condições externas do escoamento e do meio poroso. Os autores observaram o crescimento da geada por meio de equipamentos e técnicas de visualização e notaram que esse crescimento depende das condições psicrométricas do ar, da temperatura da superfície da placa e das condições do escoamento do ar. O crescimento da geada foi dividido em três etapas: (i) crescimento dos cristais de geada; (ii) crescimento da camada de geada; (iii) crescimento completo da camada de geada.

De acordo com Sánches e Brun (2002) [7], que analisaram o crescimento da camada de geada experimentalmente em evaporadores, a desumidificação do ar a baixas

temperaturas é um grande problema na operação desses trocadores de calor em câmaras frigoríficas. Com o tempo a formação de geada na superfície do evaporador reduz o desempenho dos ciclos de refrigeração usados na indústria de alimentos. Sánches e Brun (2002), concluíram que, para certas condições, o fluxo de vapor d'água foi pequeno para temperaturas muito baixas e a distribuição de geada ao longo do evaporador foi bastante irregular, o que indica que algum fator desconhecido causou este comportamento na formação de geada no evaporador.

Yang, Lee e Song (2006) [11] elaboraram um modelo matemático para avaliar o comportamento de um evaporador de tubo-aletado sujeito à formação de geada sobre as serpentinas e aletas, utilizando equações da difusão de massa na superfície da camada da geada. Os coeficientes de transferência de calor e massa na superfície dos tubos e aletas foram calculados por correlações empíricas. O modelo foi validado comparando-se a espessura da camada de geada e a taxa de transferência de calor calculadas com os respectivos valores medidos, apresentando boa concordância, com um desvio médio de 2,2 % entre os resultados. Os autores não apresentaram informações sobre o procedimento utilizado para a medição da espessura da geada. O modelo não informou sobre o procedimento de solução do refrigerante que escoo no evaporador.

Silva, Hermes e Melo (2011) [11] apresentaram um modelo para analisar a formação de geada em evaporadores de tubo-aletado sob condições típicas de operação de sistemas de refrigeração comerciais leves. O modelo baseou-se nas equações dos balanços de massa, energia e quantidade de movimento do lado ar para prever a formação de geada em regime transiente na superfície do evaporador. Os resultados numéricos foram comparados com os dados experimentais de queda de pressão no lado do ar, vazão de ar, capacidade de refrigeração e massa de geada acumulada. Todas as previsões permaneceram dentro das faixas de incerteza experimentais. Os efeitos da redução progressiva da área de passagem do ar causada pela camada de geada e pela baixa condutividade da camada de geada sobre a resistência térmica global também foram avaliados. Verificou-se que o crescimento da camada de geada é a principal causa da redução da taxa de transferência de calor do evaporador, aumentando a queda de pressão do lado do ar e reduzindo o fluxo de ar através do evaporador.

Silva (2012) [8] elaborou um modelo matemático para avaliar diferentes variáveis que influenciam na formação de geada na superfície do evaporador do tipo tubo-aletados e avaliar sua influência na capacidade de refrigeração e teve como objetivos quantificar a massa de geada acumulada, taxas de transferência de calor sensível e latente, temperatura do ar na saída do evaporador e a perda de carga do escoamento de ar, através de um aparato experimental criado para observar este fenômeno, onde foi construída uma câmara de testes para avaliar o escoamento do ar, o crescimento e adensamento das partículas de água no estado sólido sobre a superfície do evaporador, no qual permiti a realização de ensaios com vazão fixa e variável onde se usa um controlador de velocidade. Para

a análise deste caso, foi usado um método matemático substituições sucessivas, para o cálculo das equações de transferência de massa, conservação da massa, energia e quantidade de movimento.

Por meio de seus resultados experimentais, Silva (2012) [8] constatou que: (a) a taxa de acúmulo de massa de geada sobre o evaporador aumenta com a elevação da vazão de ar; (b) a taxa de acúmulo de massa decresce ao longo do tempo, devido à redução da vazão de ar movimentada pelo ventilador e a elevação da temperatura da superfície da geada; (c) a mesma massa de geada causa diferentes graus de obstrução no evaporador dependendo das condições nas quais foi gerada; (d) aletas do tipo *wavy* (onduladas) apresentam melhor desempenho do que aletas com *louvers* (ventiladas), quando sujeitas à formação de geada.

A partir de seus resultados computacionais, Silva (2012) [8] observou que: (a) a espessura da camada de geada é maior na primeira fileira de tubos do evaporador; (b) temperaturas de evaporação abaixo do valor necessário aumentam a taxa de formação de geada e originam um meio poroso com baixa densidade e condutividade térmica; (c) apesar da vazão de ar do ventilador diminuir com a formação de geada, observou-se um aumento da velocidade do ar entre as aletas devido à redução da área de passagem.

Em razão disso, neste trabalho propõe-se um modelo distribuído para analisar a influência da formação e adensamento de geada sobre o desempenho de evaporadores de tubo-aletado, comumente usados em refrigeradores *frost-free* (ver Figura 1). Para isso elabora-se um código computacional para simular o escoamento do refrigerante no interior dos tubos e do ar no exterior do evaporador com formação de geada. Para analisar o escoamento do fluido refrigerante no interior dos tubos, utiliza-se um modelo desenvolvido anteriormente por Pimenta (2015) [5], no qual o desempenho do evaporador foi analisado sem considerar a formação de geada sobre sua superfície.

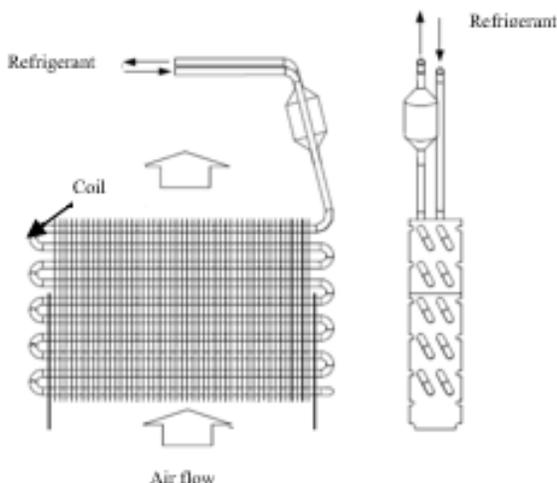


Figura 1 - Evaporador de tubo-aletado de refrigeradores *frost-free*

No modelo de Pimenta (2015)[5] as equações de conservação da massa, da quantidade de movimento e de conservação de energia do lado do fluido refrigerante são resolvidas, respectivamente, para o cálculo da velocidade, da pressão e da entalpia específica do refrigerante. Resolve-se também a equação da conservação de energia ao longo da parede do tubo, para obter sua distribuição de temperatura.

No presente trabalho implementa-se do lado do ar um modelo para a simulação da formação, crescimento e adensamento da camada de geada, sobre a superfície do evaporador. Para isso, as equações de conservação de massa de vapor d'água e de conservação de energia do ar são resolvidas, respectivamente, para o cálculo da umidade absoluta e da temperatura do ar. A queda de pressão do lado do ar é calculada por meio de correlações obtidas na literatura.

As propriedades termofísicas do fluido refrigerante, do ar e da água devem ser determinadas e equações constitutivas são requeridas para o cálculo dos fatores de atrito, dos coeficientes de transferência de calor para o refrigerante e para o ar e do coeficiente de transferência de massa para o ar. Além disso, é necessário determinar a eficiência das aletas.

Neste trabalho, as propriedades termofísicas do fluido refrigerante, do ar e da água são calculadas usando a biblioteca de propriedades termodinâmicas REFPROP 8.0 (LEMMON; HUBER; MCLINDEN, 2007). As propriedades termofísicas do material da parede dos tubos e aletas são obtidos por ajustes dos dados fornecidos por Incropera *et al.* (2014) [3].

O modelo é validado por meio de comparações dos resultados obtidos com dados experimentais disponíveis na literatura.

2 | MODELO MATEMÁTICO

O modelo proposto constitui-se do sistema formado pelas equações da conservação da massa, quantidade de movimento e energia para o refrigerante, conservação de energia na parede do tubo, conservação da energia e massa de vapor d'água do lado do ar e equações da difusão de massa e energia na camada de geada.

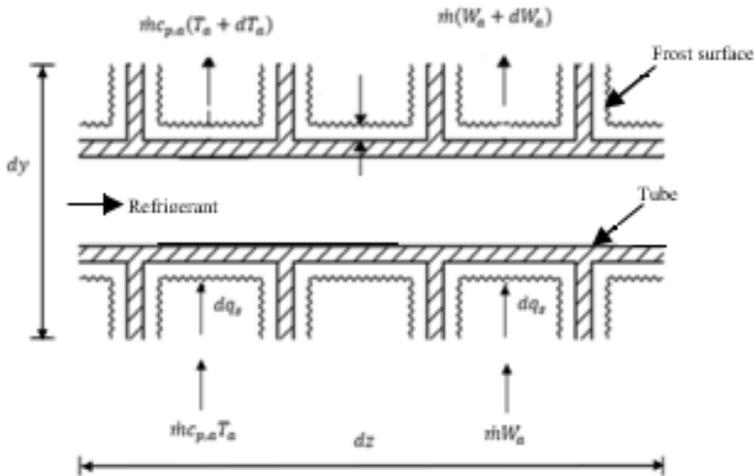


Figura 2 - Volume de controle para o balanço de energia e massa de vapor d'água no ar.

Realizando o balanço de massa do refrigerante no volume de controle mostrado na Figura 2, obtém-se

$$\frac{\partial \rho_r}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_r u)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

na qual ρ_r é a massa específica do refrigerante, u é a velocidade média do refrigerante na seção transversal do tubo, z é a coordenada ao longo do tubo, t é o tempo e A é a área da seção transversal do tubo.

Realizando o balanço de quantidade de movimento no volume de controle mostrado na Figura 2, obtém-se

$$\frac{\partial (\rho_r u)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_r u^2)}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} - F_z \quad (2)$$

na qual F_z é a força por unidade de volume em razão do atrito entre o fluido refrigerante e a parede do tubo. Frequentemente esse termo é representado por $F_z = (dp/dz)_f$, pois representa a parcela da queda de pressão total do fluido ao longo do tubo que é causada pelo atrito entre o fluido e a parede do tubo.

Realizando o balanço de conservação de energia no volume de controle mostrado na Figura 2, obtém-se

$$\frac{\partial \rho_r i_r}{\partial t} + \frac{\partial (\rho_r u i_r)}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{h_{wr} P_i}{A} (T_w - T_r) \quad (3)$$

na qual h_{wr} é o coeficiente de transferência de calor por convecção entre o refrigerante e a parede interna do tubo do evaporador, T_w é a temperatura da parede do tubo e T_r é a temperatura do refrigerante.

Realizando o balanço de conservação de energia no volume de controle ao longo da parede do tubo e aletas, mostrado na Figura 2, obtém-se

$$m_{wf}c_{wf}\frac{\partial T_w}{\partial t} = [U_{aw}(T_a - T_w) + h_m(W_a - W_{a,w})i_{sv}]P_t - h_{wr}(T_w - T_r)P_i \quad (4)$$

na qual T_a é a temperatura do ar, W_a e $W_{a,w}$ são, respectivamente, a umidade absoluta do ar e a umidade absoluta do ar saturado na temperatura da superfície da parede do tubo, i_{sv} é o calor latente de dessublimação da água na temperatura da superfície da camada de geada, U_{aw} é o coeficiente global de transferência de calor entre o ar e a parede do tubo e h_m é o coeficiente convectivo de transferência de massa determinado por meio da analogia entre transferência de calor e massa. U_{aw} e h_m .

Dessa forma, a modelagem do escoamento do fluido refrigerante no interior dos tubos do evaporador é obtida pelas Equações (1), (2), (3) e (4), usadas, respectivamente, para o cálculo das variáveis, u , p , i_r e T_w .

A seguir, realizando os balanços de massa e de difusão de calor na camada de geada mostrada na Figura 2, obtém-se as equações do modelo do lado do ar (geada)

$$T_{a,i+1} = T_{sg} - (T_{sg} - T_{a,i})\exp\left(-\frac{h_a A_t}{\dot{m}_a c_{p,a}}\right) \quad (5)$$

$$W_{a,i+1} = W_{a,sg} - (W_{a,sg} - W_{a,i})\exp\left(-\frac{h_m A_t}{\dot{m}_a}\right) \quad (6)$$

$$W_{a,sg} = W_w \cosh\left(\sqrt{\frac{\tau \lambda x_g}{\varepsilon D_{ab}}}\right) \quad (7)$$

$$T_{sg} = T_w + \frac{q''_{tot} x_g}{k_g} + \frac{i_{sv} \rho_a D_{ab} \varepsilon_g W_{a,w}}{k_g \tau_g} \left[1 - \cosh\left(\sqrt{\frac{\tau \lambda x_g}{\varepsilon D_{ab}}}\right)\right] \quad (8)$$

$$\frac{dx_g}{dt} = \frac{m''_c}{\rho_g} \quad (9)$$

$$m = \iint m'' dA dt \quad (10)$$

nas quais, as variáveis das equações de (5) à (10), são a temperatura do ar, $T_{a,j-1}$, a umidade absoluta do ar $W_{a,j-1}$ obtidas na saída do volume, A_t é a área total de contato entre o ar e a superfície da geada, temperatura da superfície da geada, a umidade absoluta do ar na superfície da geada, $W_{a,sg}$, a porosidade, ε_g e a tortuosidade da geada, t_g , $W_{a,w}$ é a umidade absoluta do ar saturado na temperatura da parede do tubo (T_w), i_{sv} é o calor latente de desublimação do vapor d'água e q'' é o fluxo de calor por condução na geada, a condutividade térmica da geada, K_g , e a difusividade do vapor no ar, D_{ab} , temperatura da superfície da geada, T_{sg} , m é a massa de geada acumulada.

Dessa forma, a modelagem do escoamento do lado do ar no evaporador é obtida pelas Equações (5), (6), (7), (8), (9) e (10), usadas, respectivamente, para o cálculo das variáveis, $T_{a,i+1}$, $W_{a,i+1}$, $W_{a,sg}$, T_{sg} , $\frac{dx_g}{dt}$ e m

3 I METODOLOGIA DE SOLUÇÃO

O sistema de equações do escoamento do fluido refrigerante e a equação da conservação da energia para a parede e aletas do evaporador. Tais equações são resolvidas por integração numérica e o sistema de equações algébricas resultante é solucionado iterativamente por substituições sucessivas.

Para isso, o tubo de evaporador é dividido em $m - 1$ volumes de controle, como mostrado esquematicamente na Figura 3, e as equações são integradas no tempo e ao longo desses volumes obtendo-se um sistema de equações algébricas. A partir de valores conhecidos em um dado instante de tempo e um dado ponto, a solução desse sistema de equações fornece os valores das variáveis para cada ponto ao longo do evaporador.

O evaporador de quatro fileiras com cinco tubos é mostrado esquematicamente na Figura 4 (a) e (b). O índice NR refere-se a fileira e os índices i, j refere-se ao escoamento do ar e do refrigerante.

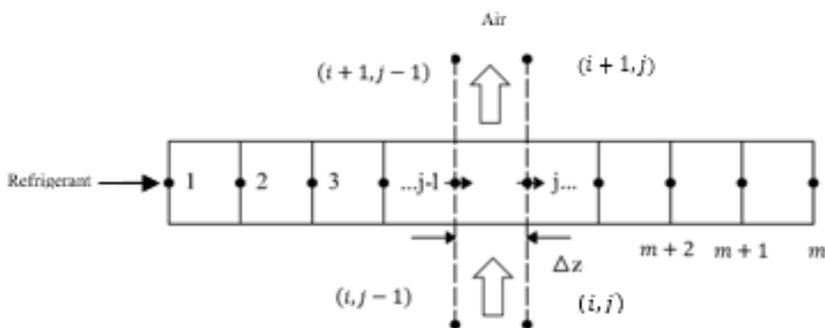


Figura 3 - Esquema da divisão ao longo do evaporador

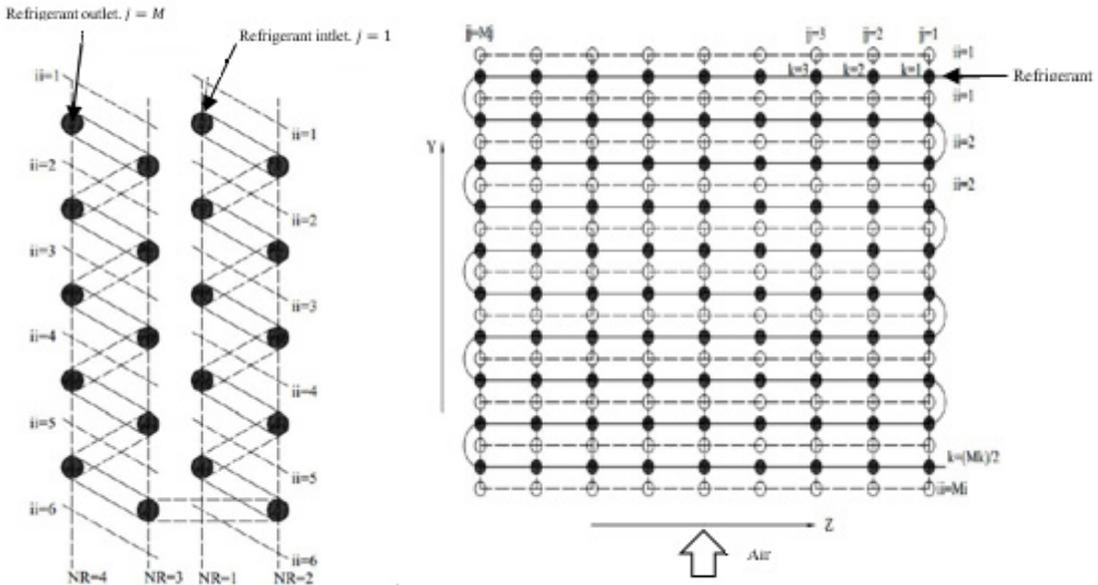


Figura 4 (a) – Vista frontal da divisão dos tubos para o evaporador de quatro fileiras com 5 tubos.

Figura 4 (b) – Vista frontal da divisão dos tubos para o evaporador de quatro fileiras com 5 tubos.

Uma vez conhecidas as condições de operação e as dimensões do evaporador, o modelo permite calcular os parâmetros de desempenho do evaporador, capacidade de refrigeração, massa de geada, queda de pressão e vazão de ar.

O tubo do evaporador é dividido em M pontos equidistantes de Δz . As equações discretizadas para o cálculo das variáveis apresentam a mesma forma para todos os pontos. Para evitar a utilização de uma equação distinta para o ponto $j = 1$, na entrada do evaporador, adota-se um ponto fictício em tal posição

Para uma dada configuração da serpentina do evaporador, o processo de simulação inicia-se com um conjunto de condições de entrada do ar e do refrigerante. Para o refrigerante, a vazão em massa, m_r , o título, x , e a temperatura, T_r , são fornecidos na entrada da serpentina $z = 0$. Para o ar, a vazão em massa, m_a , a umidade relativa, UR , e temperatura, T_a , são fornecidas na entrada do evaporador.

A solução das equações é obtida para cada ponto ao longo do evaporador, calculando-se as seguintes variáveis u, p, i_r, T_w para o escoamento do refrigerante. Com as propriedades do ar e as condições do tubo, calcula-se para o escoamento do ar $p_g, k_g, T_s, x_g, t, \varepsilon$, também pelo método de substituição sucessivas.

A convergência é obtida ponto a ponto da divisão do evaporador, quando a variação das variáveis calculadas atingirem uma variação inferior a 10^{-4} .

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os parâmetros geométricos e as condições de operação do evaporador testado por Knabben (2010) [4] são apresentados, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2.

Parâmetros geométricos	
Comprimento do tubo reto	340 mm
Profundidade, W_{evap}	60 mm
Comprimento total da serpentina	6,8 m
Altura, L_{evap}	190 mm
Espaçamento transversal dos tubos	22 mm
Espaçamento longitudinal dos tubos	23 mm
Diâmetro interno do tubo	6,3 mm
Diâmetro externo do tubo	8,0 mm
Espessura das aletas	0,22 mm
Número de aletas por tubo	52

Tabela 1 - Parâmetros geométricos do evaporador

Fonte: Knabben (2010).

Parâmetros de entrada	
Temperatura do refrigerante	-25,9 a 20,2°C
Umidade relativa	39,6 a 44,7%
Vazão de ar	46 m ³ /h
Espessura inicial da geada	0,001 mm

Tabela 2 - Condições de operação usadas por Knabben (2010).

Fonte: Knabben (2010).

A seguir apresentam-se as comparações entre os resultados calculados pelo presente modelo e os dados experimentais obtidos por Knabben (2010) [4]. Tais comparações são realizados em termos das distribuições de capacidade de refrigeração do evaporador, de massa de geada formada, de queda de pressão do lado do ar e de vazão de ar, todas avaliadas ao longo de um período de quatro horas.

Observa-se na Figura 5(a) que aproximadamente 87% dos valores das capacidades de refrigeração calculadas pelo modelo completo e pelo modelo com $T_w = T_{evap}$ encontram-se na faixa de -10 % a +10 % em relação aos valores experimentais. Observa-se também que o desvio absoluto médio foi de 8,8%, considerando todos os testes realizados, o que demonstra a qualidade do modelo proposto. Nota-se na Figura 5(b), que aproximadamente 60% dos valores das massas de geada calculadas pelos modelos encontram-se na faixa de +15% a -15% em relação aos valores medidos. Observa-se também que o desvio absoluto médio foi de 6,2%, considerando todos os testes realizados.

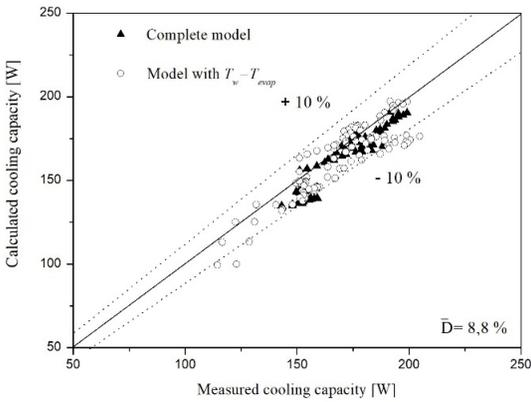


Figura 5 (a) - Comparação entre as capacidades de refrigeração calculadas e medidas por Knabben (2010).

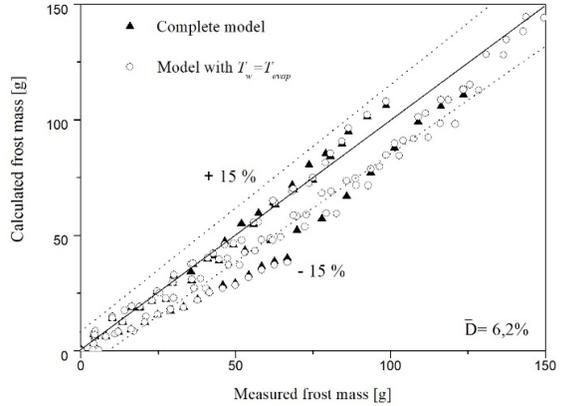


Figura 5 (b) - Comparação entre as massas de geada calculadas e medidas por Knabben (2010).

Observa-se na Figura 6(a), que aproximadamente 72% das quedas de pressão do lado do ar calculadas pelo modelo encontram-se na faixa de +15% a -15% em relação aos valores medidos e que o desvio absoluto médio foi de 1,5%, considerando todos os testes realizados. Observa-se na Figura 6(b), que aproximadamente 90% dos valores das vazões de ar calculadas pelo modelo encontram-se na faixa de +15% a -15% em relação aos valores medidos. Observa-se também que o desvio absoluto médio foi de 1,7%, considerando todos os testes realizados.

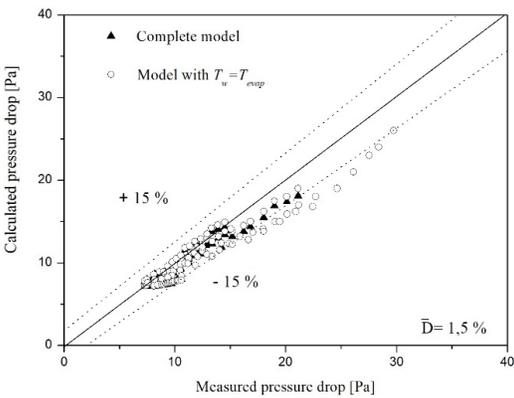


Figura 6(a) - Comparação entre as quedas de pressões do lado do ar calculadas e medidas por Knabben (2010).

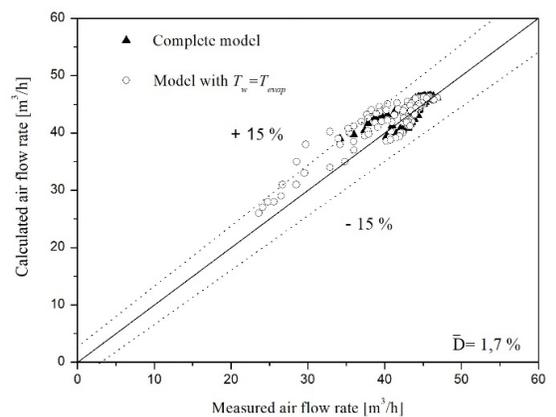


Figura 6(b) - Comparação entre as vazões de ar calculadas e medidas por Knabben (2010).

5 I CONCLUSÕES

Para analisar a formação e adensamento da camada de geada utiliza-se como base

o modelo desenvolvido por Hermes *et al.* (2009)[2].

As equações diferenciais do escoamento do refrigerante são discretizadas por integração numérica e com as equações da formação de geada são resolvidas iterativamente por substituições sucessivas.

Os resultados obtidos foram comparados com dados experimentais obtidos por Knabben (2010) [4], para um evaporador de tubo aletado que usa o fluido refrigerante R134a como fluido de trabalho. Esse evaporador é comumente usados em refrigeradores *frost-free* do tipo *top-mont*.

Tais comparações foram realizadas em termos de capacidade de refrigeração, massa de geada, queda de pressão do lado do ar e vazão de ar e apresentaram boa concordância com os dados experimentais de Knabben (2010) [4].

Considerando todos os testes realizados, ao longo de um período de 4 horas, durante o qual se avaliou a formação, crescimento e adensamento da camada de geada, os desvios absolutos médios entre os resultados calculados e os dados experimentais disponíveis na literatura foram de: (i) 8,1 % para a capacidade de refrigeração do evaporador; (ii) 6,0 % para a massa de geada formada; (iii) 1,0 % para a queda de pressão do lado do ar; (iv) 1,2 para a vazão de ar.

REFERENCES

[1] HAYASHI, Y.; AOKI, A.; ADASHI, S.; HORI, K. Study of frost properties correlating with frost formation types. **ASME Journal of Heat Transfer**, v. 99, p. 239-245, 1977.

[2] HERMES, C. J.L.; PIUCCO, R. O.; BARBOSA JR, J. R.; MELO, C.; **A study of frost growth and densification on flat surfaces**. *Experimental Thermal and fluids Science*, v. 33, p.371-379, 2009.

[3] INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 643 p.

[4] KNABBEN. F.T. **Um estudo IN-SITU da formação de geada em evaporadores no-frost**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Florianópolis, Santa Catarina. 2010.

[5] PIMENTA, P.H.N. **Modelo distribuído aplicado à análise de evaporadores do tipo tubo aletado**.2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Iha Solteira – SP. 2015.

[6] PIUCCO, R. O. **Análise Teórico-Experimental da Formação de Geada em Refrigeradores Domésticos**. 2008. 110 f. Dissertação de Mestrado – POSMEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

[7]SÁNCHEZ, J.A.G; BRUM, N.C.L. **Crescimento da camada de gelo em evaporadores**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2002

[8] SILVA, D. L. **Análise da formação de gelo e geada e seu efeito no desempenho termo-hidráulico de evaporadores do tipo tubo aletado.** 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Florianópolis, 2012.

[9] SILVA, D. L.; HERMES, C.J.L; MELO, C. **Experimental study of frost accumulation on fan-supplied tube-fin evaporators.** 2011. Applied Thermal Engineering, v. 31, n. 6, p. 1013-1020, 2011.

[10] YANG, Dong-Keun; LEE, Kwan-Soo; SONG, Simon. Modeling for predicting frosting behavior of a fin-tube heat exchanger. **International journal of heat and mass transfer**, v. 49, n. 7-8, p. 1472-1479, 2006.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Algoritmo 9, 59, 60, 62, 63, 64, 65, 66, 127, 172, 211, 320, 323, 324, 343, 350, 355, 370

Algoritmos de seleção 9, 342, 343, 347, 348, 353

ANSYS 9, 172, 173, 176, 177, 178, 180, 181, 204, 208, 266, 267, 272, 273, 399, 401

Aplicativo 9, 16, 65, 88, 89, 90, 92, 93, 273, 366, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 381, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395

Aprendizado 9, 59, 60, 63, 64, 65, 66, 87, 230, 232, 233, 235, 240, 242, 244, 281, 290

Artificial Intelligence 16, 60, 354, 355

B

Blender 231, 236, 237

C

Classificação 9, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 384

Computational Vision 355, 356

Comunicação 9, 85, 94, 95, 194, 230, 231, 232, 242, 243, 281, 283, 286, 304, 306, 307, 367, 384, 395

Coronavírus 59, 60, 65

Covid-19 11, 59, 60, 62, 65

D

Desempenho 9, 12, 11, 12, 13, 14, 19, 23, 62, 67, 113, 114, 173, 186, 257, 267, 310, 342, 343, 345, 346, 350, 352, 353, 354, 367, 370, 373, 374, 389

Diagnóstico 15, 127, 313, 314, 316, 317, 318, 328, 329, 371

Diagramas 115, 283, 284, 371, 372

Dispositivo Móvel 10, 16, 366, 368, 370, 371

E

Educação 24, 85, 86, 87, 88, 93, 94, 230, 232, 233, 235, 240, 241, 242, 243, 244, 279, 292, 303, 313, 342, 351, 353, 354, 369, 410

Enem 16, 342, 343, 344, 345, 347, 348, 350, 351, 353, 354

Energia Elétrica 9, 113, 114, 116, 126, 245, 257, 314

Ensino 9, 12, 14, 85, 86, 87, 89, 90, 92, 93, 95, 230, 231, 232, 233, 235, 236, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 281, 292, 342, 343, 351, 352, 353, 354

Equações 11, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 22, 24, 25, 26, 27, 29, 33, 34, 37, 95, 399

Estruturação de dados 194

F

Finite Differences 38, 156, 157, 158, 159, 160, 162, 163, 165, 169, 170, 171

Fracture Mechanics 332, 334, 341

G

Genetic Algorithm 128, 129, 130, 132, 133, 136, 137, 172, 180

Geração Fotovoltaica 12, 113, 115, 124, 125

I

Image Processing 128, 130, 136, 356, 364

Indústria 4.0 9, 15, 303, 304, 305, 306, 308, 309, 310, 312

Informação 9, 37, 85, 86, 92, 94, 188, 195, 196, 230, 231, 232, 233, 242, 243, 280, 281, 282, 283, 304, 308, 319, 351, 366, 367, 368, 371, 395, 396, 410

Inteligência Artificial 11, 59, 304, 307, 308, 355, 356

Interface 51, 144, 146, 150, 152, 232, 235, 236, 239, 283, 284, 286, 332, 333, 334, 341, 369, 372, 376, 384, 385, 386, 397

Interpolation 13, 1, 4, 101, 102, 103, 178, 210, 215, 216, 217, 218, 221, 227

L

Labyrinth Seals 13, 172, 174, 176, 179, 181, 182

M

Máscara 9, 11, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 66

MASK R-CNN 9, 355, 356, 359, 360, 361, 362, 364, 365

Method 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 38, 44, 55, 57, 67, 68, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 82, 83, 107, 112, 128, 129, 130, 131, 136, 141, 145, 156, 157, 158, 163, 169, 170, 171, 174, 175, 177, 178, 180, 181, 198, 199, 208, 210, 211, 215, 216, 217, 226, 227, 228, 229, 258, 259, 260, 264, 313, 336, 357, 399, 401, 409

Metodologias Ativas 231, 232, 244

Mineração de dados 343, 344, 345, 354

M-Learning 9, 12, 85, 86, 87, 88, 89, 92, 93, 94

Modelagem 17, 18, 211, 236, 237, 271, 284, 312, 371, 372, 374, 375

Modelo distribuído 9, 11, 11, 14, 22

Modelo Numérico 259, 271

Monitoramento 9, 10, 12, 60, 66, 113, 114, 115, 116, 118, 120, 122, 124, 125, 246, 248, 253, 279, 280, 283, 285, 290, 313, 314, 328, 366, 367, 368, 395

Motor de Indução 15, 313, 314, 316, 318, 319, 321

P

Probabilidade 24, 31, 32, 34, 185, 332, 375

Protótipo 9, 234, 240, 241, 242, 283, 285, 286, 289, 366, 368, 371, 372, 374, 394

Pulsed compression reactor 172, 173, 175, 181, 182

R

Realidade Virtual 9, 14, 94, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 239, 240, 241, 242, 243, 244

Rectilinear grids 13, 210, 212, 218, 227

Redes Neurais Artificiais 60, 62, 355, 364

RFID 15, 279, 280, 282, 283, 285, 286, 287, 288, 290, 291

S

Setup 13, 138, 139, 140, 146, 147, 148, 149, 150, 152, 153, 154, 155

Sistema 9, 12, 14, 15, 11, 15, 18, 64, 88, 90, 91, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 123, 124, 125, 126, 172, 184, 185, 186, 194, 195, 196, 231, 233, 234, 245, 246, 247, 248, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 272, 279, 280, 283, 284, 285, 286, 287, 289, 290, 291, 292, 293, 297, 299, 300, 306, 307, 312, 356, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 374, 375, 376, 381, 382, 384, 385, 386

Sistema de controle 194, 290

Sistema Estrutural 272, 292, 293, 297, 299, 300

Smartphone 90, 91, 94, 376

Sociedade 5.0 9, 15, 303, 304, 305, 306, 308, 309, 310

Sociedade Criativa 303, 304, 306, 308, 309

Software 9, 28, 67, 74, 137, 138, 139, 156, 157, 163, 176, 177, 200, 209, 231, 236, 266, 267, 282, 284, 287, 291, 292, 293, 298, 321, 323, 324, 325, 328, 344, 347, 371, 372, 375, 376, 386, 396, 397, 398, 399, 401

T

Tecnologia 9, 24, 85, 86, 87, 91, 93, 94, 114, 230, 231, 232, 239, 240, 241, 242, 244, 267, 279, 280, 281, 282, 283, 290, 292, 301, 302, 304, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 313, 332, 342, 366, 367, 368, 396, 410

TICs na Educação 85, 93

Torpedo anchors 138, 139, 140, 148, 150, 152, 155

Transformação Digital 9, 15, 303, 304, 305, 307, 308, 309, 310, 311

U

Uncertainty Quantification 15, 332, 336, 341

Usabilidade 9, 234, 366, 368, 372, 374, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393,

394, 395, 396, 397, 398

V

Virtual 9, 12, 14, 85, 86, 87, 88, 89, 93, 94, 100, 101, 209, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 309, 402

Virtual Reality 9, 12, 85, 86, 87, 88, 231, 243, 244

W

Web 10, 35, 279, 280, 283, 286, 287, 290, 304, 344, 386, 396

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO 2

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br