



ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)



ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

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

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

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

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

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 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

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 Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

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

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

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. 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
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

Conselho Técnico Científico

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

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliansi Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizador: João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

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

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-889-2

DOI 10.22533/at.ed.892211003

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

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

APRESENTAÇÃO

Caro(a) leitor(a)

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

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

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

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO SIMPLES

Vinícius Borges de Moura Aquino

Marco Donisete de Campos

DOI 10.22533/at.ed.8922110031

CAPÍTULO 2..... 18

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE FLEXÃO DE VIGAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO ARMADO

Afonso Henrique de Campos Rodrigues

Marco Donisete de Campos

DOI 10.22533/at.ed.8922110032

CAPÍTULO 3..... 34

THE USE OF BABASSU COCONUT FIBERS IN THE PRODUCTION OF CONCRETE

Wilson Alves Oliveira Junior

Maria Elayne Rodrigues Alves

Bruna Leal Melo de Oliveira

João Batista de Oliveira Libório Dourado

Aluska do Nascimento Simões Braga

Valdeci Bosco dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.8922110033

CAPÍTULO 4..... 40

RECICLAGEM DO POLIPROPILENO PARA OBTENÇÃO DO COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM PÓ DE OSTRA

Terezinha Jocelen Masson

Rafael dos Santos Lima

DOI 10.22533/at.ed.8922110034

CAPÍTULO 5..... 58

DESMITIFICANDO A RADIOATIVIDADE

Leandro Soares da Silva

Déborah Vitória de Souza Silva

Eduardo Mendonça Pereira Cavalcanti

Kauã Felipe Santiago

José Allan da Silva

DOI 10.22533/at.ed.8922110035

CAPÍTULO 6..... 66

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

José Roberto Rasi

Jorge Augusto Serafim

Jonathan Figueiredo Broetto

DOI 10.22533/at.ed.8922110036

CAPÍTULO 7.....84

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

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

DOI 10.22533/at.ed.8922110037

CAPÍTULO 8.....97

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

José Victor Passos Santiago
Viviane Silva Gomide

DOI 10.22533/at.ed.8922110038

CAPÍTULO 9.....108

SUITABILITY OF INTERNAL TANK COATINGS FOR AROMATIC HYDROCARBONS STORAGE

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

DOI 10.22533/at.ed.8922110039

CAPÍTULO 10.....120

DISEÑO DE UN FALDÓN ESTRUCTURAL CIRCULAR DE APOYO PARA UN SILO METÁLICO CON CAPACIDAD DE ALMACENAR 300 M³ DE CLINKER

Luis Orlando Cotaquispe Zevallos

DOI 10.22533/at.ed.89221100310

CAPÍTULO 11.....136

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

Jane Mary Targino Moreira
Ruam Magalhães da Silva
Renata Carlos Freire

DOI 10.22533/at.ed.89221100311

CAPÍTULO 12.....	147
AVALIAÇÃO DE ÓLEO VEGETAL ISOLANTE OBTIDO DE UMA NOVA FONTE DE MATÉRIA-PRIMA: AS MICROALGAS	
Helena Maria Wilhelm Giorgi Dal Pont Claudio Aparecido Galdeano Eduardo João de Palma Luiz A. Ravaglia	
DOI 10.22533/at.ed.89221100312	
CAPÍTULO 13.....	158
ANÁLISE ESTRUTURAL DO COMPORTAMENTO SÍSMICO DE BARRAGENS DE REJEITO	
Antonio Nilson Zamunér Filho Gabriel Gomes Silva Wellington Andrade da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.89221100313	
CAPÍTULO 14.....	171
ANÁLISE DE TENSÃO E COMPARAÇÃO DE PROCESSO DE FABRICAÇÃO EM ROD END	
Jói da Silva Theis Luiz Carlos Gertz André Cervieri Antonio Flavio Aires Rodrigues Gustavo Pizarro Meneghello	
DOI 10.22533/at.ed.89221100314	
CAPÍTULO 15.....	179
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE TRATAMENTO TÉRMICO NO DESEMPENHO FOTOCATALÍTICO DE FIBRAS DE TiO₂	
Luana Góes Soares da Silva Annelise Kopp Alves	
DOI 10.22533/at.ed.89221100315	
CAPÍTULO 16.....	189
EFEITOS DA PIRÓLISE SUAVE EM PELLETS DE <i>Pinus</i>	
Nathalia Heloisa Dullius Anderson Rodrigo Heydt Adriana Ferla de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.89221100316	
CAPÍTULO 17.....	197
ESTUDO DE SISTEMAS ISOLANTES DE REFERÊNCIA USADOS NA DETERMINAÇÃO DA CLASSE TÉRMICA DE NOVOS SISTEMAS ISOLANTES SEGUNDO A NORMA IEEE C57.100	
Helena Maria Wilhelm Paulo Oliveira Fernandes	

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

DOI 10.22533/at.ed.89221100317

CAPÍTULO 18.....209

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

Terezinha Jocelen Masson
Leila Figueiredo de Miranda
Antonio Hotêncio Munhoz Junior

DOI 10.22533/at.ed.89221100318

CAPÍTULO 19.....220

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

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

DOI 10.22533/at.ed.89221100319

CAPÍTULO 20.....233

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

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

DOI 10.22533/at.ed.89221100320

CAPÍTULO 21.....245

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

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

DOI 10.22533/at.ed.89221100321

CAPÍTULO 22.....259

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

Midiã Kaddja Nunes de Souza

Maria Aridenise Macena Fontenelle

DOI 10.22533/at.ed.89221100322

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

CAPÍTULO 7

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

Data de aceite: 01/03/2021

Helena Maria Wilhelm

Vegoor Tecnologia Aplicada
Colombo – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/5390521534895856>

Paulo Oliveira Fernandes

Vegoor Tecnologia Aplicada
Colombo – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/7877059584223513>

Geovana Carolina dos Santos

Vegoor Tecnologia Aplicada
Colombo – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/8635944904322133>

Maria Letícia Gomes dos Santos

Vegoor Tecnologia Aplicada
Colombo – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/0948310997814490>

Thatiane Tamyris Kuczera Pereira

Vegoor Tecnologia Aplicada
Colombo – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/7190097179094139>

Laís Pastre Dill

Vegoor Tecnologia Aplicada
Colombo – Paraná
<http://lattes.cnpq.br/0143718255333234>

Daniel da Conceição Aroucha Filho

GERA Maranhão – Geradora de Energia do
Maranhão
São Luís – Maranhão

Marcelo Luiz de Carvalho Ribeiro

GERA Maranhão – Geradora de Energia do
Maranhão
São Luís – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/7652123700396894>

Arley de Paula Mar

GERA Maranhão – Geradora de Energia do
Maranhão
São Luís – Maranhão

Pedro José dos Santos Junior

GERA Maranhão – Geradora de Energia do
Maranhão
São Luís – Maranhão
<http://lattes.cnpq.br/4381498382488170>

RESUMO: As metodologias empregadas comumente no diagnóstico de falha térmica em transformadores não permitem esclarecer a influência do papel kraft isolante (PKI) na falha. A utilização de indicadores químicos, relacionados com a decomposição do papel isolante, pode ser uma alternativa para a obtenção de diagnósticos mais precisos. Este trabalho teve como objetivo simular em laboratório a falha térmica envolvendo papel isolante em dispositivo específico para esta finalidade. Um dispositivo de envelhecimento acelerado foi empregado para aquecer o papel em elevadas temperaturas (até 1000 °C), mantendo o óleo isolante em baixa temperatura (< 80 °C). O papel foi enrolado em uma resistência que foi imersa em óleo e aquecida em diferentes temperaturas (100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 °C) e períodos (46, 89, 149 e 244 h). Na sequência, o óleo

isolante foi submetido a análise físico-química (tensão interfacial, índice de neutralização e fator de perdas dielétricas), análise de gases dissolvidos (AGD) e de compostos furânicos. Além disso, o papel isolante teve o grau de polimerização (GP) mensurado em algumas camadas envoltas na resistência. Ao final do período de envelhecimento, foi observada a carbonização do papel nas camadas mais próximas da resistência. A quantidade e o tipo de gases encontrados no óleo indicaram a ocorrência da falha térmica simulada. Por fim, foi possível concluir que o diagnóstico de falha envolvendo papel isolante pode ser determinado pela razão de CO_2/CO e pela concentração de metanol e etanol.

PALAVRAS-CHAVE: Falhas térmicas, papel kraft isolante, metanol, etanol, gases de falha.

USE OF METHANOL AND ETHANOL IN THE DIAGNOSIS OF THERMAL FAILURES RELATED TO INSULATING KRAFT PAPER

ABSTRACT: Methodologies commonly used in the diagnosis of thermal failures in transformers does not allow to explain the role of insulating kraft paper (IKP) in the failure. The use of chemical indicators, related to insulating paper decomposition, can be an alternative to obtain more accurate diagnosis. The present study aimed to simulate in laboratory the thermal failure related to insulating paper in a specific device for this purpose. A device for accelerated aging was used to heat the paper at high temperatures (up to 1000 °C), maintaining the insulating oil in low temperature (< 80 °C). The paper wrapped in a resistance immersed in oil and heated in different temperatures (100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 °C) and time (46, 89, 149 e 244 h). Then, the insulating oil was evaluated by physical-chemical analysis (interfacial tension, neutralization index and dielectric loss factor), dissolved gas (DGA) and furanic compounds analyzes. Moreover, the insulating paper had its degree of polymerization (DP) measured in some of the layers wrapped in the resistance. At the end of the aging stage, it was observed the paper carbonization in the layers closer to resistance. The amount and the type of gas found in the oil indicated the occurrence of simulated thermal failure. Lastly, it was concluded that the diagnosis of failure involving insulating paper can be determined by CO_2/CO ratio and by methanol and ethanol concentration.

KEYWORDS: Thermal failures, insulating kraft paper, methanol, ethanol, failure gases.

1 | INTRODUÇÃO

As metodologias tradicionais de emissão de diagnóstico de falha térmica em transformadores não levam em consideração parâmetros que permitam concluir se o papel kraft isolante (PKI) está ou não envolvido na falha. A utilização concomitante de indicadores químicos, relacionados com a decomposição do papel celulósico isolante, poderá se constituir na complementação necessária para obtenção de prognósticos confiáveis. O principal desafio neste sentido é a obtenção de marcadores químicos estáveis, capazes de indicar o envolvimento do papel isolante em uma falha. Além disso, tais marcadores precisam estar presentes no óleo isolante em concentrações quantificáveis pelos métodos analíticos disponíveis e, ainda, apresentar perfis de formação diferentes comparativamente à degradação normal do papel (Wilhelm et al., 2018; Saha, 2003).

Entre as técnicas químicas empregada na avaliação da qualidade do sistema isolante (óleo e papel), a análise de gases dissolvidos (AGD ou DGA, do inglês) ganhou aceitação mundial como método de diagnóstico para a detecção de falhas de isolamento em transformadores. Os gases indicadores de falhas são produzidos pela degradação do óleo do transformador e dos materiais isolantes sólidos. A taxa de degradação de celulose e de óleo aumenta significativamente na presença de uma falha dentro do transformador (Saha, 2003).

Falhas térmicas levam à produção de compostos gasosos, sendo que os mais comumente analisados são hidrocarbonetos como metano (CH_4), etano (C_2H_6), etileno (C_2H_4), acetileno (C_2H_2) e hidrogênio (H_2), óxidos de carbono como monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO_2) e gases não-inflamáveis, como nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2). As descargas elétricas de baixa energia produzem hidrogênio e metano com pequenas quantidades de etano e etileno, enquanto arcos elétricos produzem grandes quantidades de hidrogênio e acetileno e menores quantidades de metano e etileno. O acetileno só é formado em temperaturas muito altas. Metano e etano são produzidos na termodegradação do óleo à baixa temperatura, em temperaturas mais altas ocorre a formação de etileno e hidrogênio assim como metano e etano. É comumente aceito que o gás hidrogênio é formado pelo efeito corona a partir do óleo e de materiais celulósicos (Saha, 2003). A fonte mais conhecida dos óxidos de carbono (CO_2 e CO) é a degradação da celulose, embora existam trabalhos que indicam a possibilidade destes óxidos de carbono serem também provenientes da degradação do óleo isolante (Islam et al., 2017).

A temperatura em que ocorre a degradação dos materiais isolantes influencia na taxa de concentração do gás formado. Quando ocorre em baixa temperatura a maior formação é de CO_2 e em altas temperaturas a maior produção é de CO . Este comportamento é analisado experimentalmente e explicado quimicamente devido a rápida formação do óxido de carbono quando há alta energia, o aumento da cinética de formação faz com que a reação do CO_2 seja incompleta, formando CO . Algumas informações importantes podem ser extraídas da avaliação da razão CO_2/CO , uma vez que uma razão $\text{CO}_2/\text{CO} > 10$ pode indicar exposição atmosférica do isolante, enquanto uma razão $\text{CO}_2/\text{CO} < 5$ indica rápida degradação da celulose (Islam et al., 2017).

Os compostos não gasosos analisados e utilizados como marcadores químicos da degradação do papel são os compostos furânicos. Os compostos furânicos são um grupo de substâncias químicas formadas na oxidação e na hidrólise da celulose. O composto furânico produzido em maior abundância durante as reações de degradação da celulose é o 2-furfuraldeído (2-FAL), todavia, outros compostos furânicos, como o 2-acetilfurano (2-ACF), 5-metil furfuraldeído (5-MEF), 5-hidroxi-metil-2-furfuraldeído (5-HMF) e o álcool furfúrico (2-FOL), têm sido encontrados no papel e no óleo isolantes (ABNT, 2009; Abu-Siada, 2011; Mildemberger, 2014).

A análise de marcadores químicos da degradação do papel em óleo isolante,

como os compostos furânicos, é amplamente descrita em literatura para estimar a vida útil do PKI. Alguns artigos recentes descrevem análises quantitativas de metanol e etanol no óleo mineral isolante (OMI) com o objetivo de avaliar o grau de degradação do PKI em transformadores de potência, em condições normais de operação (envelhecimento normal) (Bare e Merritt, 2018; Jalbert et al., 2015). No presente estudo, foi investigada a possibilidade de usar o metanol e o etanol como indicadores químicos de falhas térmicas envolvendo o papel kraft isolante em transformadores de energia.

Para simular a falha térmica em laboratório foi utilizado neste estudo um dispositivo específico para esta finalidade (Wilhelm e Fernandes, 2018). O dispositivo desenvolvido (patente requerida) permite aquecer o PKI em altas temperaturas (até 1000 °C) mantendo o óleo isolante em baixa temperatura (< 80 °C), evitando assim, o envelhecimento acelerado do fluido. Foram realizados testes de envelhecimento acelerado em escala laboratorial no dispositivo construído. A temperatura do óleo, ao longo do envelhecimento, foi controlada utilizando uma serpentina com água fria ou em situações de maior temperatura usando um banho de gelo. Nestes experimentos, como a temperatura do óleo foi mantida na faixa média de operação do transformador, os resultados podem ser tomados como comparáveis a condição de um transformador em serviço. Parâmetros físico-químicos determinados no OMI, durante o envelhecimento acelerado no dispositivo, comprovaram a pouca degradação do fluido isolante. A quantidade e o tipo de gases encontrados no óleo indicaram a ocorrência da falha térmica simulada. Medições de metanol e etanol foram realizadas para verificar se estes compostos poderiam ser usados para confirmar o envolvimento do PKI na falha térmica.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Dispositivo de envelhecimento acelerado

Foi utilizado um dispositivo de envelhecimento acelerado para simular a falha térmica em laboratório (Figura 1), cuja propriedade intelectual foi solicitada ao INPI (Wilhelm e Fernandes, 2018). Esse equipamento pode ser operado em diferentes temperaturas, ajustadas e controladas e em diferentes atmosferas, de forma a simular condições de operação de equipamentos de energia.

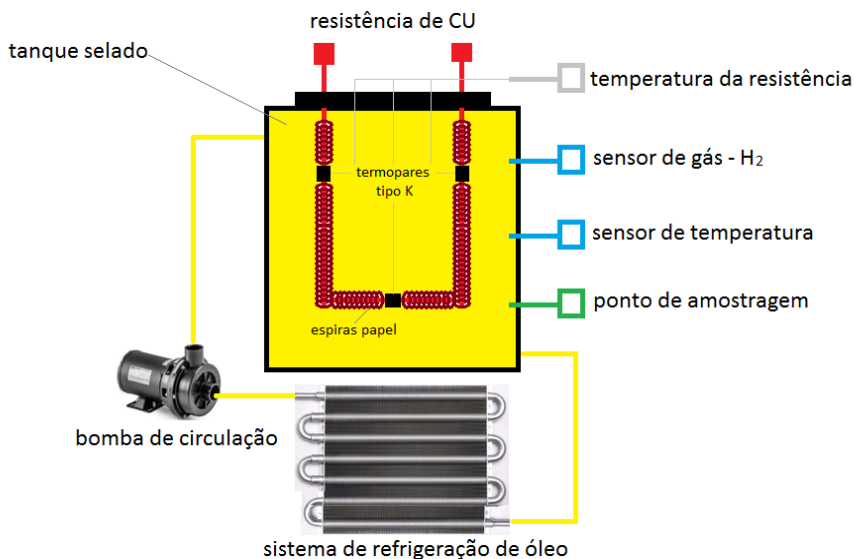


Figura 1 - Modelo aproximado do dispositivo de envelhecimento acelerado utilizado na simulação da falha térmica (Wilhelm e Fernandes, 2018).

2.2 Envelhecimento acelerado de papel e análises físico-químicas

Foi realizado um primeiro ensaio, no dispositivo de envelhecimento acelerado, utilizando-se 310 g de papel kraft termoestabilizado (PKT), com GP igual a 1100, totalizando 32 voltas na resistência (Figura 2), e 16,9 L de óleo mineral isolante (OMI) e a temperatura da resistência foi ajustada para 200 °C. As 32 camadas de papel foram enumeradas de dentro para fora, sendo a de número 1 a camada anexada à resistência e a de número 32 a camada mais externa. Um termopar foi enrolado junto à resistência para que a temperatura real da resistência e consequentemente das primeiras voltas de papel fossem medidas. O ensaio de envelhecimento acelerado teve duração de 244 h. A cada intervalo de 46 h foram retiradas amostras de óleo para análise físico-química, análise de gases dissolvidos (AGD) e de compostos furânicos. A AGD foi realizada conforme metodologia da ABNT NBR 7070 e ASTM D3612 (método A) (ABNT, 2006; ASTM, 2017). Os compostos furânicos (2-FAL, 5-HMF, 2-FOL, 5-MF e 2-ACF) foram analisados em equipamento Agilent, 1100 series HPLC (ASTM, 2015). Foram realizados ensaios de grau de polimerização (GP) nas amostras de PKI de algumas camadas envoltas na resistência (ABNT, 2009).

Em um segundo ensaio, foram enrolados 49,6 g de PKT na resistência do dispositivo de envelhecimento acelerado, totalizando 12 voltas e 62 metros de papel (Figura 2). As 12 camadas de papel foram enumeradas de dentro para fora, sendo a de número 1 a camada anexada à resistência e a de número 12 a camada mais externa. Um termopar foi enrolado junto à resistência para que a temperatura real da resistência e consequentemente das

primeiras voltas de papel fosse medida. A resistência contendo o papel envolto foi imersa em OMI, aquecida a 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 °C e mantida durante 8 h em cada uma destas temperaturas. Por exemplo, a resistência foi aquecida até 100 °C durante 8 h, depois disso a temperatura foi aumentada para 150 °C e mantida a esta temperatura durante 8 h, depois para 200 °C durante 8 h e assim sucessivamente. O óleo não foi trocado durante esses testes de envelhecimento acelerado. Amostras de óleo foram coletadas em intervalos de 8 em 8 h e a temperatura do óleo, ao longo do envelhecimento, foi controlada utilizando uma serpentina com água fria ou, em situações de maior temperatura, empregando um banho de gelo.

A temperatura do óleo em nenhum momento, durante os testes de envelhecimento, passou de 70 °C. Foram realizados ensaios de grau de polimerização (GP) nas amostras de PKT de algumas camadas envoltas na resistência. Nas amostras de OMI, coletadas em intervalos de 8 h, foram analisados os gases dissolvidos (DGA) e os compostos furânicos. As concentrações de metanol e etanol foram medidas usando cromatografia em fase gasosa com detector de espectrometria de massas (Agilent modelo 7820A, com *headspace* e acoplado a um detector de espectrometria de massas Agilent modelo 5977B com ionização por impacto de elétrons a 70 eV e analisador do tipo quadrupolo). Foram determinados alguns parâmetros físico-químicos no OMI durante o envelhecimento acelerado, a saber, tensão interfacial, índice de neutralização e fator de perdas dielétricas.



Figura 2 – Papel enrolado à resistência e termopar no primeiro e no segundo ensaio, comendo 32 e 12 voltas, respectivamente.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra a aparência do papel envolto na resistência ao final do primeiro e segundo ensaio, realizados no dispositivo de envelhecimento acelerado. Na Figura 4 são apresentados o aspecto do papel das 32 camadas (primeiro ensaio) e os resultados de GP para estes papéis. Foi observado um decréscimo do GP das camadas mais externas para as internas.



Figura 3 – Aspecto do papel, enrolado à resistência, ao término do primeiro e segundo ensaio, respectivamente.

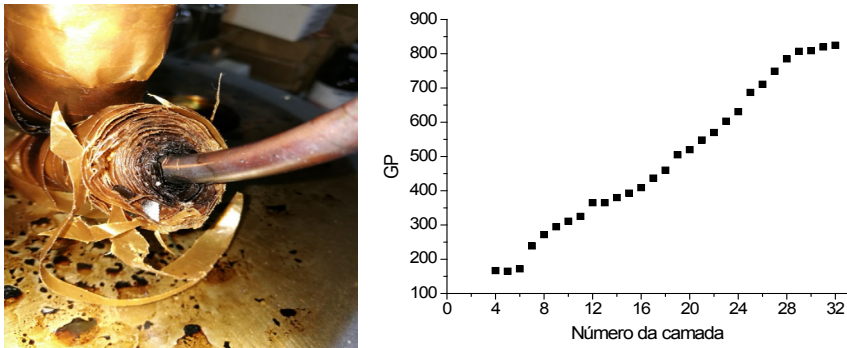


Figura 4 – Aspecto do papel, enrolado à resistência, ao término do primeiro ensaio e GP do papel das camadas 32 a 4.

Foram realizados ensaios de GP apenas nas amostras de papel das camadas 12, 11 e 10 do segundo ensaio (Figura 5). Nas camadas mais próximas à resistência (camadas < 9) não foi possível realizar esse ensaio, uma vez que o papel estava muito degradado, aproximando-se de cinzas (carbonização), conforme apresentado na Figura 5. Da 10^a para a 12^a camada o GP encontrado foi entre 318 e 229.



Figura 5 – Aspecto do papel, envolto na resistência, ao término do ensaio e GP do papel das camadas 12, 11 e 10.

Um papel celulósico novo tem tipicamente um GP de 1200 e um valor de 150–200 indica o final de sua vida útil, em que o papel do transformador não tem resistência mecânica suficiente, podendo resultar em uma possível falha se ocorrer estresse mecânico (ABNT, 2009). Considerando como critério de final de vida útil um GP de 200, pode-se concluir que cerca de 18,75% do papel utilizado atingiu essa condição para o segundo ensaio (camadas 1 – 6) e cerca de 75% para o primeiro ensaio (camadas 1 – 9). Esses resultados confirmam que os experimentos realizados simularam condições de uma falha térmica envolvendo papel isolante.

Os compostos furânicos, formados na oxidação e hidrólise da celulose do PKT (ABNT, 2009; Abu-Siada, 2011; Mildemberger, 2014), também foram determinados em função do tempo de envelhecimento e da temperatura para os dois ensaios realizados (Tabelas 1 e 2). As concentrações dos compostos furânicos aumentaram com o acréscimo do tempo (Tabela 1) e da temperatura de simulação da falha (Tabela 2). A análise de 2-FAL (Tabelas 1 e 2), deixou clara a maior confiabilidade na utilização deste composto como marcador químico na degradação do papel comparativamente aos outros compostos furânicos, porque sua formação é crescente em relação ao tempo e à temperatura. Os dados de 2-FOL obtidos nos dois ensaios acelerados corroboram com informações de Mildemberger (2014), que mostrou em seu trabalho que a análise de 2-FOL não é recomendada para o acompanhamento da degradação celulósica por se tratar de um composto instável.

Composto furânico	Tempo de ensaio (horas)				
	0	46	89	149	244
2-FAL	0,15	1,87	2,01	4,94	6,62
2-FOL	0,13	0,48	0,99	0,64	1,1
2-ACF	0,02	0,15	0,18	0,25	0,12
5-HMF	0,13	0,64	0,79	0,53	0,65
5-MEF	0,03	0,65	0,76	1,6	1,75
TOTAL	0,46	3,79	4,73	7,96	10,24

Tabela 1 – Concentração de compostos furânicos no OMI do primeiro ensaio.

Composto furânico	Temperatura			
	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C
2-FAL	0,10	0,79	2,48	94,7
2-FOL	0,03	2,50	1,71	0,19
2-ACF	0,04	0,60	4,38	14,9
5-HMF	0	0,18	2,44	3,14
5-MEF	0	0,03	1,23	4,0
TOTAL	0,17	4,1	12,24	116,93

Tabela 2 – Concentração de compostos furânicos no OMI do segundo ensaio.

A AGD no óleo isolante fornece informações gerais sobre a condição de operação do transformador, mais especificamente sobre o tipo e a severidade do defeito ou falha, quando existente (Wang et al., 2017). Os resultados da AGD do segundo ensaio são mostrados na Tabela 3. A quantidade e o tipo de todos os gases encontrados no óleo indicam a ocorrência da falha térmica simulada. Em geral, a concentração dos gases aumentou em uma taxa mais alta em temperaturas acima de 300 °C, como esperado (Wang et al., 2017).

A razão CO_2/CO foi decrescente com o tempo (primeiro ensaio) e com a temperatura (segundo ensaio), conforme apresentado na Figura 6. Água e os óxidos de carbono (CO e CO_2) são os principais subprodutos da degradação térmica da celulose. Portanto, o CO em um transformador pode indicar celulose superaquecida. Além disso, quantidades crescentes de CO em serviço não significam necessariamente que haja uma falha envolvendo papel. Entretanto, a relação CO_2/CO pode ser útil na identificação de possíveis efeitos de temperatura (BANOVIC et al., 2015).

Temperatura da resistência (°C)	Concentração do gás (ppm)					
	H ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
100	1	2	1	0	0	0
150	1	11	0	0	0	0
200	2	51	4	1	1	0
250	2	116	34	31	25	0
300	17	341	276	162	105	0
350	110	1595	1290	1344	602	0
400	230	3771	3042	4483	4836	0

Tabela 3 – Concentração de gases dissolvidos no óleo mineral isolante em função da temperatura de aquecimento da resistência contendo o papel isolante.

Nos experimentos realizados, a razão CO₂/CO praticamente atingiu o limite de cerca de 3 para o primeiro ensaio e ficou próximo de 1 ao término do segundo ensaio (Figura 6). O arranjo experimental utilizado neste trabalho permitiu simular falhas envolvendo papel isolante com pouco envolvimento do óleo. Como a relação CO₂/CO diminuiu com a quantidade de papel envolvida na falha, esta pode ser usada como ferramenta auxiliar no diagnóstico de falhas térmicas envolvendo PKT.

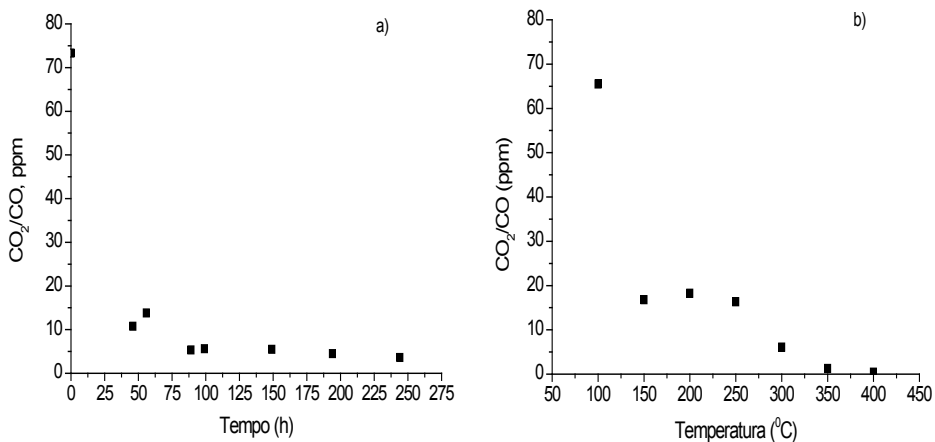


Figura 6 – Razão CO₂/CO em função a) do tempo (primeiro ensaio) e b) da temperatura da resistência contendo o papel isolante (segundo ensaio).

O envelhecimento acelerado do OMI também foi avaliado durante o ensaio realizado com rampa de temperatura e os resultados obtidos mostram que o óleo não degradou significativamente nas condições experimentais utilizadas neste trabalho (Tabela 4). No entanto, a pequena variação nas propriedades do óleo mostra que há um gradiente de

temperatura no óleo na superfície da resistência/papel. Embora a temperatura do óleo no dispositivo de envelhecimento acelerado tenha sido mantida relativamente baixa e constante, o aumento da temperatura no ponto quente causou alguma oxidação no mesmo.

Propriedade	Óleo novo	Qualidade do óleo ao término do:	
		Primeiro ensaio	Segundo ensaio
Tensão interfacial (mN/m)	46	38	31
Índice de neutralização (mg KOH/g)	0,01	0,08	0,03
Fator de perdas dielétricas 100 °C (%)	0,15	1,42	1,03

Tabela 4 – Propriedades físico-químicas do OMI usado nos ensaios de simulação da falha térmica.

Concentrações de metanol nas amostras de óleo do segundo ensaio realizado no dispositivo de envelhecimento acelerado foram detectadas em temperaturas ≥ 150 °C, enquanto teores de etanol foram encontrados em temperaturas ≥ 350 °C (Figura 7). Metanol foi detectado quando a razão CO_2/CO é ≤ 18 enquanto que o etanol foi detectado quando esta razão foi < 3 . Como o etanol foi detectado em temperaturas muito superiores ao metanol e em baixas razões de CO_2/CO , o uso deste composto é recomendado na confirmação de falhas envolvendo PKT, em conjunto com a razão CO_2/CO . Os autores deste artigo estão criando um banco de dados de AGD, CO_2/CO , metanol e etanol para apresentação e discussão futura de nova metodologia de diagnóstico de falhas envolvendo papel isolante.

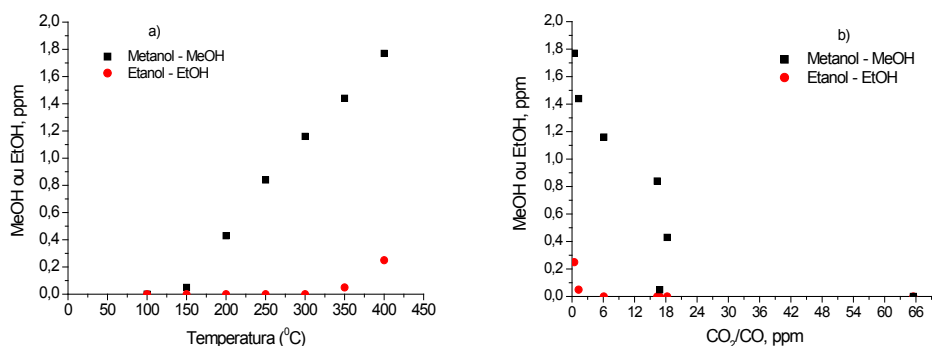


Figura 7 – Concentração de metanol e etanol em função da a) temperatura e b) da razão CO_2/CO , no OMI do segundo ensaio.

4 | CONCLUSÃO

O conjunto específico de testes apresentados neste artigo focalizou apenas na simulação de condições de falha térmica. Em geral, o diagnóstico pela metodologia tradicional de AGD confirmou a falha térmica simulada em laboratório, no dispositivo de envelhecimento acelerado utilizado.

Os resultados obtidos podem ser utilizados na manutenção preditiva de transformadores que empregam PKI e OMI. A utilização concomitante dos indicadores químicos investigados, metanol e etanol, associado aos resultados da razão CO_2/CO , relacionados com a decomposição do papel celulósico isolante, poderá se constituir na complementação necessária para obtenção de prognósticos confiáveis de falhas envolvendo papel isolante.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ANEEL e GERA MARANHÃO pelo apoio na execução do projeto de P&D PD 6492-0116/2016, e ao CNPq pela bolsa de Desenvolvimento Tecnológico concedida à pesquisadora Helena M. Wilhelm.

REFERÊNCIAS

ABU-SIADA, A. **Correlation of furan concentration and spectral response of transformer oil-using expert systems**. IET Science Measure & Technology, v. 5, p. 183–188, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Standard test method for analysis of gases dissolved in electrical insulating oil by gas chromatography**. ASTM D3612:2017. United States of America.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Standard test method for furanic compounds in electrical insulating liquids by high-performance liquid chromatography (HPLC)**. ASTM D5837, 2015. United States of America.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Amostragem de gases e óleo mineral isolantes de equipamentos elétricos e análise dos gases livres e dissolvidos**. ABNT NBR 7070:2006. Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **Medição do grau de polimerização viscosimétrico médio de materiais celulósicos novos e envelhecidos para isolação elétrica**. ABNT NBR IEC 60450:2009. Brasil.

BANOVIC, M., RAMACHAJ, P., REGO, N., JUSTIZ, P. **Significance of CO_2/CO ratio in dissolved gas analysis**. Transformers Magazine, v. 2, n. 1, p. 30-35, 2015.

BARE, C. E., MERRITT, S. Y. **Methanol as an ageing marker for in service transformers**. IEEE Transactions on Industry Applications, v. 978, p. 1–7, 2018.

ISLAM, M. M., LEE, G., HETTIWATTE, S. N. **A review of condition monitoring techniques and diagnostic tests for lifetime estimation of power transformers.** Electrical Engineering, p. 1–25, 2017.

JALBERT, J., CELIS, E. R., DUCHESNE, S., MORIN, B., RYADI, M., GILBERT, R. **Kinetics of the production of chain-end groups and methanol from the depolymerization of cellulose during the ageing of paper/oil systems. Part 3: extension of the study under temperature conditions over 120 °C.** Cellulose, v. 22, p. 829–848, 2015.

MILDEMBERGER, L. **Avaliação do desempenho de indicadores de degradação de sistemas isolantes papel/óleo usados em transformadores de potência.** Mestrado, 99 p, 2014.

SAHA, T. K. **Review of modern diagnostic techniques for assessing insulation condition in aged transformers.** IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, v. 10, n. 5, p. 903–917, 2003.

WANG, X. F., WANG, Z. D., LIU, Q., WILSON, G., WALKER, D., SMITH, P. W. R. **Dissolved gas analysis (DGA) of mineral oil under thermal faults with tube heating method.** In Dielectric Liquids (ICDL), 2017 IEEE 19th International Conference, 2017.

WILHELM, H. M., FERNANDES, P. O. **Pedido de patente BR 10 2018 010033 5**, depositado em 17/05/2018. Brasil.

WILHELM, H. M., FERNANDES, P. O., SANTOS, G. C., SANTOS, M. L. G., KUCZERA, T., RIBEIRO, M., SANTOS JR. P. J., AROUCHA, D., MAR, A. **Simulação, em laboratório, de falha térmica envolvendo papel isolante.** IX WORKSPOT- International Workshop on Power Transformers, Equipment, Substations and Materials, Foz do Iguaçu, PR, 2018.

ÍNDICE REMISSIVO

A

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

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

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

B

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

Biomateriais 97, 98, 99, 106, 107

C

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

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

D

Descarte de lodo 136, 137, 139

Diseño 120, 121, 123, 124, 125, 128

E

Energia nuclear 58, 61

Ensaio de flexão de três pontos 1, 9, 16

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

Estructuras 82, 120, 123, 128

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

Extensômetro 171

F

Falhas térmicas 84, 85, 86, 87, 93

Fibra de coco babaçu 35

Flexión 120, 130, 131

Forjamento 172, 174, 178

Frequência de descarga 136, 142

G

Gases de falha 85

M

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

Método numérico 2, 18

Microalgas 147, 148, 149, 156

Microfundido 172, 175, 178

O

Óleo isolante 84, 85, 86, 87, 92, 147

P

Pandeo 120, 134, 135

Papel kraft isolante 84, 85, 87, 198

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

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

Popularização da ciência 58

Preservação ambiental 40, 42

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

Prótese craniomaxilofacial 97

R

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

Resistencia à compressão 35

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

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

S

Silo horizontal 66, 71, 72, 75, 76

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

Sismicidade 158, 159, 162, 167, 170

Sólidos sedimentáveis 136, 138, 139, 141, 145

T

Teatro científico 58, 59

Trabalhabilidade 35

V

Viga cilíndrica 18, 19, 20, 22, 27

Z

Zircônia 97, 100, 101, 102, 105, 107

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

4

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

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

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 