

Atena
Editora
Ano 2021



*Carlos Augusto Zilli
(Organizador)*

*A visão sistêmica e integrada
das **engenharias**
e sua **integração com a sociedade***

Atena
Editora

Ano 2021



Carlos Augusto Zilli
(Organizador)

***A visão sistêmica e integrada
das engenharias
e sua integração com a sociedade***

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 Cremona

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 Federac 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 Gonçalves de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

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

A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua integração com a
sociedade

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Carlos Augusto Zilli.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

V822 A visão sistêmica e integrada das engenharias e sua
integração com a sociedade / Organizador Carlos
Augusto Zilli. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-404-4

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.044212508>

1. Engenharia. I. Zilli, Carlos Augusto (Organizador). II.
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; 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

Esta obra, intitulada “A Visão Sistêmica e Integrada das Engenharias e sua Integração com a Sociedade”, em seu primeiro volume, apresenta 22 capítulos que abordam pesquisas relevantes que fazem emergir esta visão completa e abrangente típica das engenharias, revelando de que forma ela pode se integrar à sociedade para solucionar os desafios que surgem mundo afora, trazendo pesquisas relacionados à COVID, controle de segurança, saneamento básico, sismologia, interações socioespaciais, purificação de biogás, análise de vigas compósitas, pressão em estruturas, entre outros.

Desta forma, esta obra se mostra potencialmente disponível para contribuir com discussões e análises aprofundadas acerca de assuntos atuais e relevantes, servindo como base referencial para futuras investigações relacionadas às engenharias em suas mais diversas instâncias.

Deixo, aos autores dos capítulos, um agradecimento especial, e aos futuros leitores, anseio que esta obra sirva como fonte inspiradora e reflexiva.

Esta obra é indicada para os mais diversos leitores, tendo em vista que foi produzida por meio de linguagem fluída e abordagem prática, o que favorece a compreensão dos conceitos apresentados pelos mais diversos públicos, sendo indicada, em especial, aos amantes da área de engenharia.

Carlos Augusto Zilli

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

COVID-19 (SARS-COV-2): ESTUDO PROSPECTIVO SOBRE TESTES DE DETECÇÃO DO CORONAVÍRUS EM HUMANOS


Paulo Cesar dos Santos Teixeira
Fábio dos Santos Teixeira
Carlos Alberto Machado da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125081>

CAPÍTULO 2..... 11

DIFERENTES SUBSTRATOS E ADUBAÇÕES NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE


Carolina Rafaela Barroco Soares
Alaide de Oliveira Carvalho
Deborah Regina Alexandre
Jairo Rafael Machado Dias
Laysa Teles Vollbrecht
Micheli Leite Zanchetta

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125082>

CAPÍTULO 3..... 18

ESTUDO DA PRESSÃO EFETIVA EM COBERTURAS COM PLATIBANDA CONFORME A NBR 6123 – FORÇAS DEVIDAS AO VENTO EM EDIFICAÇÕES


Gean Henrique Sabino Freitas
Luiz Henrique Moreira de Carvalho
Nélison Ferreira Corrêa
Wilson Espindola Passos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125083>

CAPÍTULO 4..... 31

METODOLOGIA PARA ENSINO DA CONCORRÊNCIA ENTRE PROCESSOS COM EMPREGO DE SEMÁFOROS EM SISTEMAS OPERACIONAIS PREEMPTIVOS


Marco Aurélio de Souza Birchal
Viviane Santos Birchal

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125084>

CAPÍTULO 5..... 41

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO: INSTRUMENTO DE PLANEJAMENTO PARTICIPATIVO, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL

Luiz Roberto Santos Moraes


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125085>

CAPÍTULO 6..... 58

APLICAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O PLANEJAMENTO DE FLUXO DE POTÊNCIA

REATIVA


Polianna Schneider Durigon
Carlos Roberto Mendonça da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125086>

CAPÍTULO 7..... 69

ANÁLISE DA ACELERAÇÃO LATERAL DE UM VEÍCULO EM UM SIMULADOR COM 9 GDL


Elyton Elias Prado Naves
Jánes Landre Júnior
José Tomich Bosco Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125087>

CAPÍTULO 8..... 79

ADEQUAÇÃO DE TRELIÇA EM AÇO FRENTE A UMA NOVA FINALIDADE


Gustavo de Oliveira Dumas
José Geraldo de Araújo Silva
Lucas Teixeira Araújo
Antônio Maria Claret de Gouveia
Hisashi Inoue
André Luiz Candian

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125088>

CAPÍTULO 9..... 86

PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS NA REGIÃO DO MACIÇO DE BATURITÉ, CEARÁ, BRASIL


Juan Carlos Alvarado Alcócer
Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto
Ciro de Miranda Pinto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0442125089>

CAPÍTULO 10..... 100

ANÁLISE DE VIGAS COMPÓSITAS LAMINADAS DE TIMOSHENKO ATRAVÉS DO MÉTODO DE GREEN


Leonardo Fellipe Prado Leite
Fabio Carlos da Rocha

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250810>

CAPÍTULO 11..... 114

ESTRATÉGIAS INOVADORAS PARA PESQUISAS DE EVAPORAÇÃO DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS SUPERFICIAIS NO NORDESTE BRASILEIRO

Bárbara Hillary de Almeida Pinto
Cecília Roberta Barbosa da Silva
Maria Eduarda Medeiros Monteiro
Heloysa Helena Nunes de Oliveira
Efrain Pantaleón Matamoros

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250811>

CAPÍTULO 12..... 124

AMBIÊNCIA E ENTORNO: INTERAÇÕES SOCIOESPACIAIS ENTRE IDOSOS MORADORES DE UM CONDOMÍNIO E A VIZINHANÇA


Luzia Cristina Antoniossi Monteiro

Vania Aparecida Gurian Varoto

Lucas Bueno de Campos

Ingrid Bernardinelli

Gabriely Grezele

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250812>


CAPÍTULO 13..... 136

METODOLOGIA DE COMPOSIÇÃO DE CUSTO PARA ENCARGOS COMPLEMENTARES: EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO INDIVIDUAL

Guilherme Martins Pereira

Regina Maria Germânio

Tiago Silveira Gontijo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250813>


CAPÍTULO 14..... 155

AVALIAÇÃO DE RISCOS E CONTROLE DE SEGURANÇA EM PEDREIRA

Michael José Batista dos Santos

Suzi Cardoso de Carvalho

Irineu Antônio Schadach de Brum

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250814>

CAPÍTULO 15..... 174

POTENCIAL INOVADOR DAS PESQUISAS DE SISMOLOGIA: ESTUDO DA APLICAÇÃO DA INTERFEROMETRIA SÍSMICA PARA IMAGEAMENTO 4D


Julia Alanne Silvino dos Santos

Marcelo dos Santos Vieira

Lenise Souza Cardoso de Andrade

Heloysa Helena Nunes de Oliveira

Zulmara Virgínia de Carvalho


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250815>

CAPÍTULO 16..... 184

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DO FOSFATO DE CÁLCIO MONETITA PELA ROTA ÚMIDA DE NEUTRALIZAÇÃO RATHJE – HAYEK E NEWSELY

Nataly Cristiane de Campos Amador Garcias

Carlos Pérez Bergmann


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250816>

CAPÍTULO 17..... 196

ESTUDOS DAS DESCARGAS ATMOSFÉRICAS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO MONOFÁSICAS

Emiliane Advincula Malheiros

Roberto Paulo Barbosa Ramos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250817>

CAPÍTULO 18.....203

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CALCINAÇÃO NA FASE DA HIDROXIAPATITA
OBTIDA PELO MÉTODO SOL-GEL**


Marilza Aguiar

José Brant de Campos

Bruno Cavalcante Di Lello

Nataly Cristiane de Campos Amador Garcias

Vitor Ramos


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250818>

CAPÍTULO 19.....209

**REDISTRIBUIÇÃO DA VAZÃO AR EM MINA SUBTERRÂNEA PARA AUMENTO DE
HORAS DISPONÍVEIS EM OPERAÇÃO DE LAVRA**

Alisson Brasil

Renan Collantes Candia

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250819>

CAPÍTULO 20.....225

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS LIMITES DA CAVA FINAL ÓTIMA COM BASE NA
VARIAÇÃO DO PREÇO DE MERCADO DA ROCHA FOSFÁTICA**

João Antônio da Silva Neto

Marcélio Prado Fontes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250820>

CAPÍTULO 21.....238

**USO DA TECNOLOGIA DE MANUFATURA ADITIVA NA INDÚSTRIA AEROESPACIAL:
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA**

Allisson Régis dos Santos Maia

Maria Elizete Kunkel

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250821>

CAPÍTULO 22.....253

A IMPORTÂNCIA DOS INDICADORES NA MANUTENÇÃO

Alexandre Fernandes Santos

Heraldo José Lopes de Souza

Marcia Cristina de Oliveira

Sariah Torno

Darlo Torno

Sandro Adriano Zandoná

Tiago Rodrigues Carvalho

Natalia Tinti Ramos

Eliandro Barbosa de Aguiar

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.04421250822>

| | |
|---------------------------------|------------|
| SOBRE O ORGANIZADOR..... | 260 |
| ÍNDICE REMISSIVO..... | 261 |

ANÁLISE DE VIGAS COMPÓSITAS LAMINADAS DE TIMOSHENKO ATRAVÉS DO MÉTODO DE GREEN

Data de aceite: 02/08/2021

Leonardo Fellipe Prado Leite

Universidade Federal de Sergipe,
Departamento de Engenharia Civil
Aracaju – Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/4624443167380813>

Fabio Carlos da Rocha

Universidade Federal de Sergipe,
Departamento de Engenharia Civil
Aracaju – Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/1027322038462037>

RESUMO: Avanços recentes na tecnologia dos materiais compósitos têm levado ao uso de vigas, nas mais diversas composições, como componentes estruturais em várias aplicações de engenharia devido às propriedades mecânicas eficientes destes materiais. No entanto, os efeitos de deformação por cisalhamento tornam-se mais pronunciados nestas estruturas devido aos baixos módulos de cisalhamento transversal em comparação com os módulos de tração no plano, quando sujeitas a cargas transversais. O que justifica a necessidade de uma análise estrutural precisa para vigas compósitas. Com as limitações existentes na teoria clássica de vigas, principalmente nas delgadas, para representar o comportamento conjunto da deflexão por flexão e por cisalhamento, foi desenvolvida uma formulação analítica para vigas laminadas ortotrópicas por meio da aplicação do método das funções de Green à viga de Timoshenko com consideração da teoria da Camada Única

equivalente (ESL). O método se mostrou simples, eficaz e com alta replicabilidade, sendo possível utilizar em problemas com carregamentos mais complexos e compará-los com métodos numéricos, tal como o Método dos Elementos Finitos.

PALAVRAS-CHAVE: Timoshenko, Vigas, Laminados, Método das funções de Green.

ANALYSIS OF TIMOSHENKO LAMINATED COMPOSITE BEAMS USING THE GREEN METHOD

ABSTRACT: Recent advances in the technology of composite materials have led to the use of beams, in the most diverse compositions, as structural components in various engineering applications due to the efficient mechanical properties of these materials. However, shear deformation effects become more problematic in these structures because of the low shear modulus compared to the tensile modulus in the plane when subjected to transverse loads. That fact justifies the need for a precise structural analysis for composite beams. Once known to the limitations existing in the classical theory of beams (mainly in thin beams) to represent the deflection behavior due to shear deformation, in this work, an analytical formulation for orthotropic laminated beams was developed using the Green function method applied to Timoshenko beams with consideration of the equivalent single layer theory (ESL). The present method proved to be simple, effective, and with high replicability, using it in problems with more complex loads and comparing them with numerical methods such as the Finite Element Method.

KEYWORDS: Timoshenko, Beams, Laminated, Method of Green's Function.

1 | INTRODUÇÃO

Combinar propriedades de materiais para desenvolver para obter melhor desempenho é uma prática comum ao longo da história da humanidade. A antiga civilização israelita utilizava a mistura de palha picada com pedras para reforçar suas estruturas, os guerreiros samurais japoneses eram conhecidos por suas espadas laminadas forjadas com o intuito de ter propriedades cortantes desejáveis. Com o avanço do conhecimento, outras áreas se beneficiaram desse conceito na modernidade, tais como a Engenharia Civil, Aeronáutica, Naval, Mecânica e de Tecnologia. Um exemplo clássico é o concreto armado e as diversas fibras utilizadas em sua composição (VISON e SIERAKOWSKI, 2008).

Atualmente é essencial entender o funcionamento dos materiais compósitos, uma vez, que estes são usados para otimizar diversas tecnologias presentes na produção de caminhões de alta resistência, em navios, em barcos, pontes (FIGURA 1), estradas, equipamentos modernos da agricultura, hélices para energia eólica, instrumentos musicais, asas de aeronaves e em vigas compósitas laminadas, sendo este último o foco principal do presente trabalho.

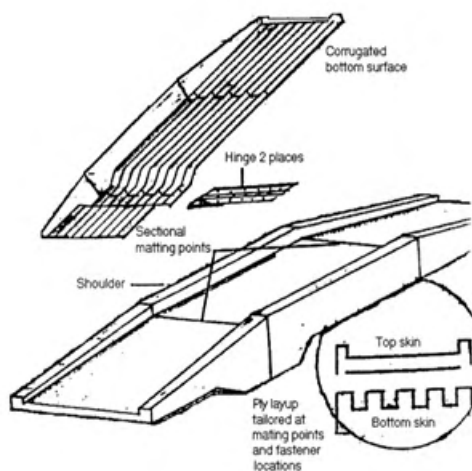


Figura 1 – Esquema de ponte portátil implantável (VISON e SIERAKOWSKI, 2008).

As vigas compósitas laminadas são formadas por camadas de ao menos dois materiais diferentes. Esta composição tem o objetivo de unir propriedades de interesse, tais como elevadas relações resistência-peso e rigidez-peso quando comparado com vigas formadas por único material. Dentre os compósitos que têm grande facilidade de

obter as elevadas relações citadas acima, pode-se mencionar as lâminas reforçadas com fibras (JONES, 1999). Estas laminas são importantes pois proporcionam maior controle da distribuição dos esforços, uma vez que apresentam maior resistência na direção das fibras (VISON e SIERAKOWSKI, 2008).

Devido às vantagens proporcionadas pelos compósitos laminados, em particular aplicados a estrutura de vigas, torna-se importante a precisão na determinação dos campos mecânicos, tais como deslocamento e forças de interação entre camadas, quando submetidas à flexão. As principais teorias utilizadas para analisar vigas laminadas são: teoria da camada única equivalente (ESL – equivalente single layer), teoria layerwise (LW) e a teoria zig-zag (ZZ). A ESL é uma teoria que condensa as propriedades do laminado em uma única camada por meio da ponderação dos materiais. Devido à particularidade da ESL, tanto a teoria clássica de viga, quanto as teorias com consideração de cisalhamento de primeira ordem e de ordem superior podem ser aplicadas em conjunto com a ESL (FARIA, 2006). Já a teoria LW e ZZ consideram separadamente cada camada, no entanto, diferenciam-se na consideração da hipótese de interação entre elas. Por estes fatos, LW e ZZ são teorias consideradas mais precisas quando comparadas com a ESL, por outro lado, mais custosas computacionalmente. Por aliar baixo custo computacional e boa precisão global, no presente trabalho, é desenvolvida a formulação analítica, via funções de Green, para a teoria de vigas compósitas laminadas pela abordagem ESL aplicada à teoria cisalhante de primeira ordem, ou comumente conhecida, teoria de vigas de Timoshenko.

Este trabalho está dividido como se segue: item 2 é apresentada as teorias de vigas isotrópicas, de Camada Única Equivalente e as funções de Green. No item 3 são apresentados os resultados e discussões e por últimos, no item 4, são realizados os comentários finais.

2 | DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

2.1 Teorias de vigas isotrópicas

Para analisar vigas isotrópicas homogêneas, ou seja, que possuem um único material com propriedades mecânicas iguais para todas as direções, pode-se utilizar vários tipos de cinemáticas e a escolha da mais apropriada depende de fatores presente em cada problema, pois cada cinemática tem suas vantagens e desvantagens por considerarem ou desconsiderarem alguns efeitos na flexão das vigas.

Por nível de complexidade, a teoria mais simples é a elementar de vigas (TEV), conhecida como teoria de Euler-Bernoulli, na sequência tem a adição da consideração do efeito de cisalhamento presente na teoria de deformação cisalhante de primeira ordem, conhecida como teoria de Timoshenko. Evoluindo o nível de complexidade, tem-se as teorias que, adicionalmente ao efeito de cisalhamento, consideram tanto o efeito do empenamento da seção quanto a nulidade da tensão de cisalhamento nas bordas inferior e superior das

vigas. Estas abordagens elaboradas são conhecidas como teoria de deformação cisalhante de alta ordem ou teoria refinada para vigas.

A teoria de viga mais antiga (século XVIII) é a de Euler-Bernoulli que tem a vantagem por ser simples e com alta precisão para vigas que têm uma relação comprimento-altura muito grande, ou seja, para vigas delgadas. No entanto, a deformação por cisalhamento na flexão é desconsiderada em Euler-Bernoulli. Por conta disso, em 1921, o engenheiro Stephen Timoshenko incluiu o efeito cisalhante de maneira simples, considerando que a tensão de cisalhamento seja constante, e, por isso, apresenta imprecisão na interpretação das tensões e da deformação axial. Com o passar do tempo, surgiram outras teorias que consideram essa tensão de cisalhamento variável, ou seja, de ordem superior (SAYYAD, 2011).

Segundo a teoria de Euler-Bernoulli, quando uma viga sofre deflexão mantém as seções planas e perpendiculares à linha neutra. Já para a análise das vigas de Timoshenko a seções após deformada continuam planas, porém não são mais perpendiculares a linha neutra, isso se deve ao fato de considerar tanto a rotação devido á flexão, ou seja, rotação equivalente à derivada primeira da deflexão, quanto a rotação devido ao cisalhamento (FIGURA 2).

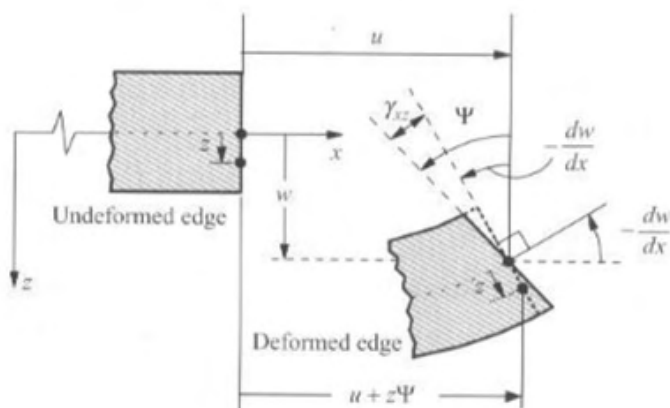


Figura 2 – Viga de Timoshenko deformada (REDDY, 2006).

A partir dessas considerações, a cinemática de Timoshenko é escrita da seguinte forma

$$u(x, y, z) = -z\Psi(x) = -z\left(-\phi(x) + \frac{dw(x)}{dx}\right) \quad (1)$$

$$w(x, y, z) = w(x).$$

Com $w(x)$ sendo a deflexão, $\phi(x)$ a rotação devido ao cisalhamento e z a coordenada

$$\begin{aligned} [\sigma_x]^{(n)} &= [\overline{Q_{11}}]^{(n)} [\varepsilon_x]^{(n)}, n = 1, 2, \dots, N \text{ camadas} \\ [\tau_{xz}]^{(n)} &= [\overline{Q_{55}}]^{(n)} [\gamma_{xz}]^{(n)} \end{aligned} \quad (4)$$

As relações constitutivas do conjunto de equações 4, considerando um sistema de coordenadas tridimensional de eixos 1, 2 e 3, são descritas por Vinson (2008) de tal forma que

$$\begin{aligned} \overline{Q_{11}} &= Q_{11} \cos^4 \theta + 2(Q_{12} + Q_{66}) \cos^2 \theta \sin^2 \theta + Q_{22} \sin^4 \theta \\ \overline{Q_{55}} &= Q_{44} \cos^2 \theta + Q_{55} \sin^2 \theta \end{aligned} \quad (5)$$

Onde,

$\theta \rightarrow$ ângulo em relação com a horizontal da direção das fibras da lâmina.

$$Q_{ij} = \begin{vmatrix} \frac{(1 - \nu_{23}\nu_{32})E_1}{\Delta} & \frac{(\nu_{12} - \nu_{13}\nu_{32})E_2}{\Delta} & \frac{(\nu_{13} - \nu_{23}\nu_{12})E_3}{\Delta} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{(\nu_{21} - \nu_{23}\nu_{31})E_1}{\Delta} & \frac{(1 - \nu_{13}\nu_{31})E_2}{\Delta} & \frac{(\nu_{23} - \nu_{21}\nu_{13})E_3}{\Delta} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{(\nu_{31} - \nu_{21}\nu_{32})E_1}{\Delta} & \frac{(\nu_{32} - \nu_{12}\nu_{31})E_2}{\Delta} & \frac{(1 - \nu_{21}\nu_{12})E_3}{\Delta} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & G_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & G_3 \end{vmatrix}$$

$$\Delta = 1 - \nu_{12}\nu_{21} - \nu_{32}\nu_{23} - \nu_{13}\nu_{31} - 2\nu_{13}\nu_{32}\nu_{21}$$

e ν_{ij} são os coeficientes de Poisson.

A partir das relações tensão-deformação determinada para cada camada, pode-se escrever os esforços pela equação:

$$\begin{aligned} N_x &= b \sum_{n=1}^N \int_{h_n}^{h_{n+1}} [\sigma_x]^{(n)} dz \\ V_x &= b \sum_{n=1}^N \int_{h_n}^{h_{n+1}} \kappa [\tau_{xz}]^{(n)} dz \\ M_x &= b \sum_{n=1}^N \int_{h_n}^{h_{n+1}} z [\sigma_x]^{(n)} dz \end{aligned} \quad (6)$$

A teoria de cisalhamento de primeira ordem requer um fator de correção (K) que depende da geometria da seção. As integrais da equação 6 são dependentes da cinemática adotada, o que proporciona para cada campo de deslocamento integrais distintas com

ordem diferente em termos do parâmetro da altura z . Calculados esses esforços para a cinemática de Timoshenko, é possível substituir os resultados nas equações governantes para construir a função núcleo de Green, a ser visto na sequência.

2.3 Funções de Green

As funções de Green, na matemática, são utilizadas para a resolução de equações diferenciais não-homogêneas e são definidas como uma transformada integral que objetiva simplificar equações de alta ordem em equações lineares dependentes de uma variável. A definição matemática dessas funções é (WATANABE, 2013)

$$f(x) = \int K(x, \xi) F(\xi) d\xi \quad (7)$$

onde f é uma função qualquer bem definida, K é uma função-núcleo utilizada para representar um caso unitário e F é uma função-imagem dependente da variável transformada. O uso de transformadas, como a de Laplace ou de Fourier, é muito comum para a resolução de problemas da Engenharia. Para efeito deste estudo, foi utilizada a transformada de Laplace para definir a função núcleo de Green.

A transformada de Laplace tem o objetivo de mapear uma equação diferencial não-homogênea de quarta ordem em uma equação linear dependente de uma variável s . Considerando uma função $f(t)$ qualquer que será transformada e dependente de uma variável que nunca é menor do que zero, a definição matemática da transformada de Laplace é (Sauter, Azevedo e Strauch, 2020)

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(x) e^{-sx} dx \quad (8)$$

Para representar os mais diversos carregamentos descontínuos aplicados a vigas, faz-se necessário o uso das funções delta de Dirac (δ) e Heaviside (H) que se relacionam conforme apresenta na equação 9 (Sauter, Azevedo e Strauch, 2020)

$$\frac{dH(\xi, x)}{dx} = \delta(\xi, x) \quad (9)$$

Seja uma viga compósita laminada submetida a uma força unitária arbitrária aplicada em um ponto ξ , de tal forma que tanto a seção analisada quanto a força concentrada variam ao longo do comprimento (L) da viga, na direção do eixo x (ver Figura 4).

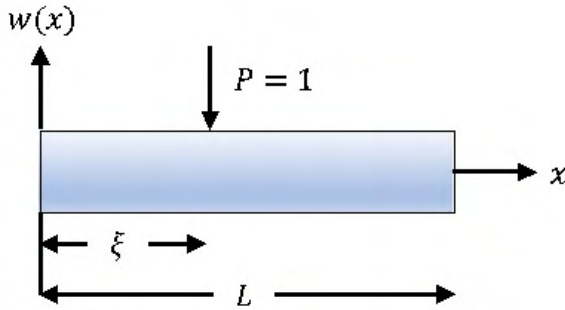


Figura 4 – Viga em um estado unitário de descontinuidade (AUTORAL, 2019).

Com base no sistema de coordenadas da figura 4 e na cinemática de Timoshenko (Equação 1), é aplicado o princípio dos trabalhos virtuais para desenvolver as equações que descrevem o problema (Equação 10).

$$\begin{aligned} \frac{d^2 N_x}{dx^2} &= 0 \\ \frac{dV_x}{dx} &= -q(x) \\ \frac{dM_x}{dx} &= V_x \end{aligned} \tag{10}$$

Substituindo a equação 4 nas integrais do conjunto de equações 6 e, na sequência, aplicando esse resultado na equação 10, tem-se

$$\begin{aligned} A_z \frac{d^2 \Psi}{dx^2} &= 0 \\ B_0 \frac{d}{dx} \left(\Psi - \frac{dw}{dx} \right) &= q(x) \\ \frac{d}{dx} \left(A_{zz} \frac{d\Psi}{dx} \right) &= B_0 \left(\Psi - \frac{dw}{dx} \right) \end{aligned} \tag{11.1}$$

com,

$$\begin{aligned} A_z &= b \sum_{n=1}^N \int_{h_n}^{h_{n+1}} z \left[Q_{11} \right]^{(n)} dz \\ B_0 &= b \sum_{n=1}^N \int_{h_n}^{h_{n+1}} \kappa \left[Q_{55} \right]^{(n)} dz \\ A_{zz} &= b \sum_{n=1}^N \int_{h_n}^{h_{n+1}} z^2 \left[Q_{11} \right]^{(n)} dz \end{aligned} \tag{11.2}$$

Inicialmente o conjunto de equações 11 é condensado de forma que relacione a deflexão apenas ao carregamento externo. Para isso, a terceira expressão, presente na Equação 11.1, é derivada uma vez e substituída na segunda expressão da equação de

Eq. 11.1. Na sequência, o resultado é substituído na expressão da segunda derivada da equação 2, de Eq. 11.1, e assim, escreve-se a equação 12.

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = -\frac{1}{B_0} \frac{d^2 q(x)}{dx^2} + \frac{1}{A_{zz}} q(x) \quad (12)$$

Uma vez que apenas uma carga concentrada atua ao longo da extensão da viga é possível representá-la através da função Delta de Dirac, assim, a equação 12 pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\frac{d^4 w}{dx^4} = \frac{1}{B_0} \frac{d^2 \delta(x-\xi)}{dx^2} - \frac{\delta(x-\xi)}{A_{zz}} \quad (13)$$

Assim, com o uso da transformada de Laplace, obtém-se uma equação diferencial de quarta ordem que resulta na deflexão total da viga. Substituindo $f(x)$ por $w(x)$ na equação 8, tem-se:

$$s^4 W(S) - s^3 w(0) - s^2 w'(0) - s w''(0) - w'''(0) = \frac{s^2 e^{-s\xi}}{B_0} - \frac{e^{-s\xi}}{A_{zz}} \quad (14)$$

$$W(S) = \frac{w(0)}{s} + \frac{w'(0)}{s^2} + \frac{w''(0)}{s^3} + \frac{w'''(0)}{s^4} + \frac{e^{-s\xi}}{s^2 B_0} - \frac{e^{-s\xi}}{s^4 A_{zz}}$$

A equação 14 representa a função de deflexão da viga (Figura 4), no entanto a mesma está no domínio “S”, por conta da integração da transformada de Laplace. Para apresentar essa expressão no domínio de interesse ($x \in (0, L)$ e $\xi \in (0, L)$), é preciso realizar o procedimento inverso da integração de Laplace, mostrado na equação 15. Observa-se que os termos da equação abaixo são dependentes da posição de interesse (x) e da localização em que a carga unitária é colocada (ξ).

$$g(x, \xi) = w(0) + w'(0)x + \frac{w''(0)x^2}{2} + \frac{w'''(0)x^3}{6} + \frac{(x-\xi)}{B_0} H(x-\xi) - \frac{(x-\xi)^3}{6A_{zz}} H(x-\xi) \quad (15)$$

Uma vez obtida a forma da função $g(x, \xi)$, a depender das condições de contorno é construída diferentes funções núcleo. Assim, conhecendo-se a função que descreve o carregamento $q(\xi)$, é possível determinar a deflexão total da viga através da função de Green aplicado na Equação 7, como mostrado abaixo.

$$w(x) = \int_0^L g(x, \xi) q(\xi) d\xi \quad (16)$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para entender as potencialidades do método, foi realizado uma série de exemplos comparados com referências consolidadas. Como referência analítica foram utilizados

os trabalhos de Reddy(1994) e Pagano (1969). Para a referência numérica foi utilizado o método dos elementos finitos. Neste último caso, foram utilizados 8 elementos com 3 nós cada, denominado por TIM 8 elementos. E para a integração numérica foi utilizada a integração reduzida com objetivo de evitar o travamento por cisalhamento (shear locking).

Nos exemplos apresentados abaixo, uma viga simplesmente apoiada formada por três lâminas com direções das fibras em $0^0/90^0/0^0$ foi considerada. Nestes exemplos as condições de contorno $w(0)=w''(0)=w(L)=w''(L)=0$ são aplicadas na equação 15 para desenvolver a função núcleo de Green abaixo

$$g(x, \xi) = \frac{(x-\xi)}{B_0} H(x-\xi) - \frac{(L-\xi)x}{B_0 L} - \frac{(x-\xi)^3}{6A_{zz}} H(x-\xi) + \frac{[(L-\xi)x^3 - (2L^2\xi - 3L\xi^2 + \xi^3)x]}{6A_{zz}L}. \quad (17)$$

3.1 Exemplo 1

O primeiro caso estudado é referente a uma viga submetida a carregamento uniformemente distribuído cujo valor, características geométricas e propriedades dos materiais são apresentadas na figura 5. Aplicando a expressão do carregamento e a equação 17 na integral da equação 16, pode-se escrever a expressão da deflexão:

$$w(x) = \frac{q_0 L^4}{24A_{zz}} \left[-\left(\frac{x}{L}\right)^4 + 2\left(\frac{x}{L}\right)^3 - \left(\frac{x}{L}\right) \right] - \frac{q_0 L^2}{2B_0} \left[\left(\frac{x}{L}\right) - \left(\frac{x}{L}\right)^2 \right] \quad (17)$$

A Figura 6 apresenta a concordância entre os resultados pelo método de Green e a solução analítica de Reddy (1994).

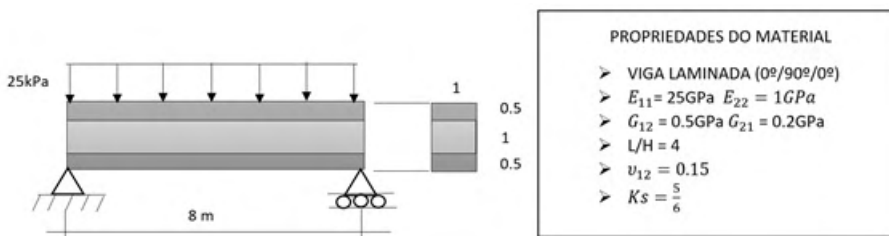


Figura 5 – Viga simplesmente apoiada e laminada com carregamento distribuído (AUTORAL, 2020).

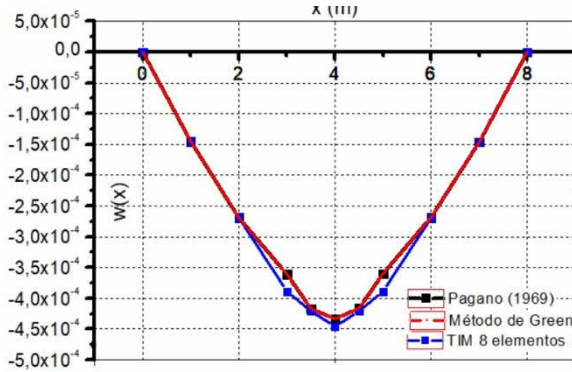


Figura 6 – Gráfico de deflexão por comprimento da viga do exemplo 1 (AUTORAL, 2020).

3.2 Exemplo 2

Neste exemplo uma viga, com características geométricas e propriedades dos materiais apresentadas na figura 7, é submetida a um carregamento descrito por uma função senoidal. Aplicando a expressão do carregamento e a equação 17 na integral da equação 16, pode-se escrever a expressão da deflexão:

$$w(x) = -\frac{q_0 \text{sen}\left(\frac{\pi(x)}{L}\right) L^4}{A_{zz} \pi^4} - \frac{q_0 \text{sen}\left(\frac{\pi(x)}{L}\right) L^2}{B_0 \pi^2} \quad (18)$$

A Figura 8 apresenta a concordância entre os resultados pelo método de Green e a solução analítica de Pagano (1969).

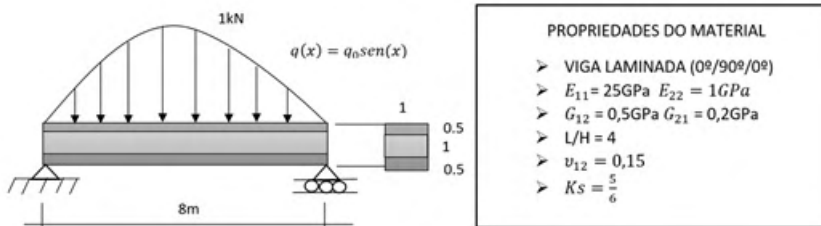


Figura 7 – Viga simplesmente apoiada e laminada com carregamento senoidal (AUTORAL, 2020).

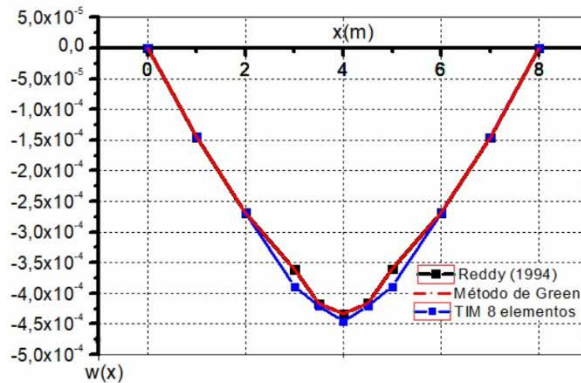


Figura 8 – Gráfico de deflexão por comprimento da viga do exemplo 2 (AUTORAL, 2020).

3.3 Exemplo 3

Por fim, utilizando a mesma estrutura supracitada, a função de carregamento foi alterada novamente para um carregamento complexo e assimétrico. Neste exemplo, os resultados foram comparados com o Método dos Elementos Finitos com 20 elementos e grau de aproximação quadrático por elemento. As propriedades dos materiais e as características geométricas com $h_1 = 0.5m$, $h_2 = 1m$, $h_3 = 0.5m$ são apresentadas na figura 9.

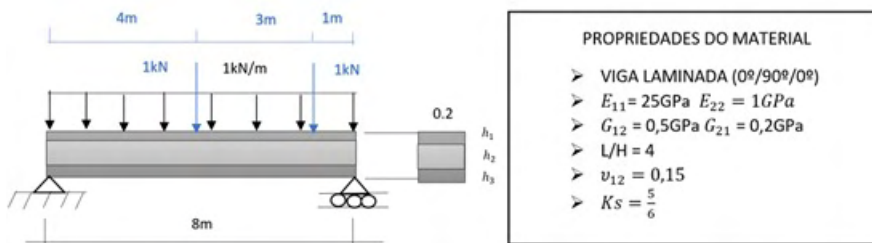


Figura 9 – Viga simplesmente apoiada e laminada com carregamento complexo (AUTORAL, 2020).

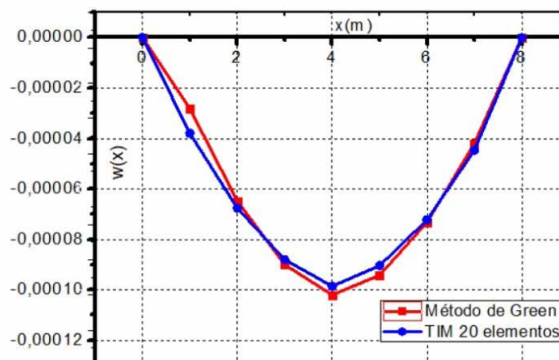


Figura 10 – Gráfico de deflexão por comprimento da viga do exemplo 3 (AUTORAL, 2020).

4 | CONCLUSÃO

Conforme apresentado, a metodologia para resoluções por funções de Green mostraram resultados de deflexão concordantes com os de referência. O desenvolvimento dos núcleos de Green necessitam conceitos matemáticos um pouco elaborado, tal como transformada de Laplace, no entanto, uma vez desenvolvida a expressão geral de Green é possível resolver uma gama enorme de problemas desde que apresentadas as condições de contorno e carregamento. A partir dos resultados de deflexão e da cinemática da teoria de vigas utilizadas, são calculados tensões, deformações e deslocamentos, sendo sua precisão a mesma obtida pela teoria a qual o método é incorporado. É possível aplicar em diversas cinemáticas, tipos de vigas e materiais (desde isotrópicas até laminadas ortotrópicas). Por conta disso, nota-se sua viabilidade na resolução de problemas mais complexos que são incomuns na literatura, pela simplicidade da metodologia de cálculo.

REFERÊNCIAS

AVERILL, R.C. **Static and Dynamic Response of Moderately Thick Laminated Beams with Damage**, Composites Engineering, 4(4): 381–395, 1994

AZEVEDO, Álvaro F. M. **MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS**. Primeira edição pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. Abril, 2003.

DA CUNHA, R. D.; **Programação científica em FORTRAN 95**, 2ª edição revisada e ampliada. Clube de autores, 2011.

DI SCIUVA, M. **A Refined Transverse Shear Deformation Theory for Multilayered Anisotropic Plates**, *Atti Accademia delle Scienze di Torino*, 118: 279–295, 1984.

DI SCIUVA, M. **A Refinement of the Transverse Shear Deformation Theory for Multilayered Orthotropic Plates**, Proceedings of 7th AIDAA National Congress, October 1983, also published in *L'aerotecnica missili e spazio*, 62: 84–92, 1984

DI SCIUVA, M.; GHERLONE, M. **Refinement of Timoshenko Beam Theory for Composite and Sandwich Beams Using Zigzag Kinematics**. Department of Aeronautics and Space Engineering Politecnico di Torino, Torino, Italy, 2007

DRIEMEIER, L. **Integração numérica**. Departamento de engenharia mecatrônica, USP.

FARIA, A. W.; **Modelagem por elementos finitos de placas compostas dotadas de sensores e atuadores piezoelétricos: implementação computacional e avaliação numérica**. Universidade Federal de Uberlândia, 2006

JONES, R. M; MILLARD R. **Mechanics of composite materials** / Robert M. Jones. Second Ed. p. cm

LAMBERS, J. **Hermite Interpolation**. p. 1–7, 2010-2011.

LIU, D.; LU, X. **An Interlaminar Shear Stress Continuity Theory for Both Thin and Thick Composite Laminates,**” *Computers and Structures*, 42(1): 9-78, 1992

ONATE, E. **Structural Analysis with the Finite Element Method.** Linear Statics. 1. ed. Barcelona: Springer, 2013. v. 2.

PAGANO, N. J., **Exact solution for composite laminates in cylindrical bending,** *J. Compos. Mater.*, vol. 3, 1969, 398–411.

POZRIKIDIS, C. **Introduction to Finite and Spectral Element Methods Using Matlab.** Chapman & Hall/CRC, 2005.

REDDY, J. N.; **An Introduction to the Finite Element Method.** Third Ed. Departamento f Mechanical Engineering Texas A&M University. 2006.

REDDY, J. N. and Robbins, D.H. Jr. **Theories and computational models for composite laminates.** *Applied Mechanics Review*, 47(6), 147-167, 1994.

SAUTER, E. AZEVEDO, F. S. STRAUCH I. M. F. **Transformada de Laplace: um livro colaborativo.** UFRGS. 2020.

SAYYAD, A. S. **Comparison of various refined beam theories for the bending and free vibration analysis of thick beams.** *Applied and Computational Mechanics*, 2011.

SAYYAD, A. S.; GHUGAL, Y. M. **Bending, buckling and free vibration of laminated composite and sandwich beams: A critical review of literature.** *Composite Structures*, v. 171, n. October, p. 486–504, 2017.

STEWART, James. **Cálculo.** Sétima edição. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

TESSLER, A.; DI SCIUVA, M.; GHERLONE, M. **Refined Zigzag Theory for Laminated Composite and Sandwich Beams Using ZigZag Kinematics.** NASA Langley Research Center, Hampton, VA, 2007.

TIMOSHENKO, S. P.; GERE, J. E. **Mechanics of Materials.** Volume 1. Pws Pub Co, 1998.

TIMOSHENKO, S.; GOODIER, J. N. **Theory of Elasticity.** Second Ed. New York, 1951.

VINSON, J. R.; SIERAKOWSKI, R. L. **The Behavior of Structures Composed of Composite Materials.** Second Ed. Ontario, 2008

WATANABE, K. **Integral Transform Techniques for Green’s Fuction.** Volume 71. F. Pfeiffer, Garching, Germany P. Wriggers, Hannover, Germany, 2013

ÍNDICE REMISSIVO

9GDL 70

A

Algoritmos 31, 35, 36, 58, 226, 237

Ambiência 124, 126, 127, 129, 132, 133, 134, 135

Análise de sensibilidade 153, 225, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 236

B

Biocombustível 86

Biodigestor 86, 88, 90, 93, 94, 95, 96, 97, 98

Biomaterial 184, 185, 194

Bowtie 155, 162, 166, 168, 169, 172

C

Casca de ovos de galinha 184

Cava final 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 236

Confiabilidade 147, 240, 247, 249, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259

Coronavírus 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10

Covid-19 1, 2, 4, 9, 10, 256

D

Data centers 253

Descarga atmosférica e ATPDraw 196

Dinâmica 20, 22, 24, 25, 26, 35, 69, 70, 71, 72, 74, 120, 133

Disponibilidade 39, 88, 115, 116, 120, 212, 222, 223, 239, 246, 249, 253, 255, 256, 258

E

Encargos complementares 136, 137, 151

Engenharia de custo 136, 140

Equipamentos de proteção individual-(EPI) 136, 141, 146, 151, 152

Escalonamento 31, 32, 33, 39

Essências florestais 11, 12

Evaporação 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123

F

FCA 69, 70, 71, 72

Filtração 86

Física do solo 11

G

Gestão de processos 209

I

Idoso 132, 134

Índice de qualidade de Dickson 11, 13, 14

Indústria aeroespacial 238, 239, 240, 241, 242, 243, 245, 246, 247, 248, 249

Integrado e sustentável 41, 47, 55

L

Laminados 100, 102

Linhas de transmissão 196, 197, 199, 201

M

Manufatura aditiva 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 251

Melhoria continua 209

Metano 86, 89, 90, 91, 95

Método das funções de Green 100

Monetita 184, 185, 189, 190, 191, 192

Moradia adequada 124, 126, 127, 133, 135

Motion cueing 70, 72, 73, 75, 77

N

Nordeste 23, 114, 115, 116, 121, 123, 172, 214, 215, 217, 218

O

Orçamento de obra 136

Otimização 58, 59, 183, 209, 226, 230, 235

P

Pandemia 1, 4, 9, 10, 256, 259

Pedreira 155, 156, 157, 159, 161, 162, 168, 169, 172

Planejamento de lavra 225, 228

Planejamento participativo 41, 46, 47, 55

Plano municipal de saneamento básico 41, 47, 49, 50, 52, 54, 55, 56

Platibandas 18, 20, 25, 26

Políticas públicas 41, 42, 43, 45, 46, 54, 57, 132

Potência reativa 58, 59, 63, 64, 67

Preço da rocha fosfática 225, 228, 229, 233

Pressão efetiva 18, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 27

Processos 8, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 79, 87, 89, 92, 93, 121, 128, 141, 151, 163, 164, 175, 193, 204, 209, 211, 223, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 245, 246, 247, 248, 249

Projeto de cobertura 18

Prospecção 1, 3, 8, 116, 117, 174, 177, 178, 179, 182

Q

Qualidade de mudas 11, 12, 15, 16

R

Regiões críticas 31

Relações socioespaciais 124, 132, 133

Reservatórios superficiais 114, 116, 117, 119, 121, 122

Revisão sistemática da literatura 238, 240

Rota úmida 184, 187, 188

S

Segurança de mina 155, 172

Semáforos 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39

Simulador 31, 36, 37, 38, 39, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 77

Síntese 134, 140, 184, 185, 186, 187, 194, 203, 204, 205, 206, 208

Sísmica 174, 175, 176, 177, 180, 181, 182, 183

Sistemas de potência 58

Substrato 11, 13, 14, 15, 88, 89

T

Timoshenko 100, 101, 102, 103, 106, 107, 112, 113

V

Ventilação de mina 209, 210, 213, 215, 222

Vigas 100, 101, 102, 103, 104, 106, 112


W

WRAC 155, 156, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 170, 172

Atena
Editora

Ano 2021




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


***A visão sistêmica e integrada
das engenharias
e sua integração com a sociedade***


Atena
Editora


Ano 2021



 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

*A visão sistêmica e integrada
das **engenharias**
e sua **integração com a sociedade***
