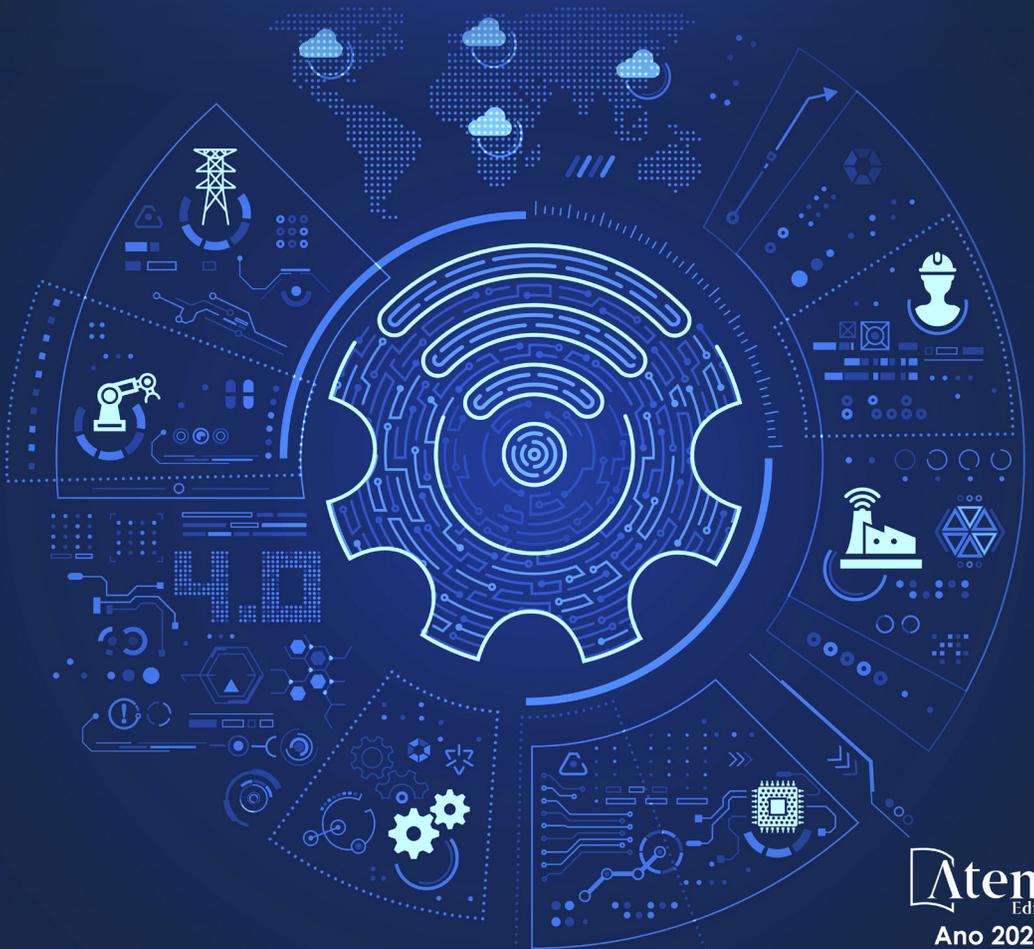


Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIA- RIAS: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIA- RIAS: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 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 Exatas e da Terra e Engenharias**

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

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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
Prof^o Dr^o Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^o Dr^o Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^o Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^o Dr^o Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^o Dr^o Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Prof^o Dr^o Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^o Dr^o Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof^o Dr^o Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof^o Dr Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá
Prof^o Dr^o Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharias: pesquisa, desenvolvimento e inovação 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Amanda Fernandes Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	Engenharias: pesquisa, desenvolvimento e inovação 2 / Organizadora Amanda Fernandes Pereira da Silva. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0935-9 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.359231801 1. Engenharia. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizadora). 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.

Sabendo que a Atena Editora faz parte do grupo de instituições que incentivam a difusão de inovação científica, a mais nova coleção “Engenharias: Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3” engloba pesquisa científica, aplicada, desenvolvimento experimental e inovação tecnológica. Um dos grandes desafios enfrentados atualmente nos mais diversos ramos do conhecimento, é o do saber multidisciplinar, aliando conceitos de diversas áreas.

Atualmente, é necessário que os profissionais saibam discernir e transitar conceitos e práticas levando em consideração o viés humano e técnico. Diante desse contexto, este livro traz capítulos ligados a teoria e prática em um caráter multidisciplinar, apresentando de maneira clara e lógica conceitos pertinentes aos profissionais das mais diversas áreas do saber. Os mais diversos temas estão relacionados às áreas de engenharia, como civil, materiais, mecânica, química, dentre outras, dando um viés onde se faz necessária a melhoria contínua em processos, projetos e na gestão geral no setor fabril.

Esta obra se mostra como fundamental, de abordagem objetiva, para todos os âmbitos acadêmicos e pesquisadores que busquem alavancar em conhecimento. Aos autores, agradeço pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura.

Amanda Fernandes Pereira da Silva

CAPÍTULO 1 1**A IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE GESTÃO DE QUALIDADE DENTRO DOS PROCESSOS EMPRESARIAIS**

Milena dos Santos Silva

Luis Jorge Souza dos Anjos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318011>**CAPÍTULO 2 5****ANÁLISE COMPARATIVA DAS NORMAS NBR 6118/2014, NBR 7188/2013 E AASHTO LRFD 2012, BASEADA NA TEORIA DA CONFIABILIDADE – ESTUDO DE CASO DE UMA VIGA I DA PONTE SOBRE CÓRREGO SÃO DOMINGOS NA RODOVIA ESTADUAL ES-010, TRECHO ITAÚNAS - ES-421**

Rodrigo José Costa Nóbrega

Emmanoel Guasti Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318012>**CAPÍTULO 330****ANÁLISE DA DEFLEXÃO DE VIGAS E EIXOS POR EDO E SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO**

Cristian Comin

Adabiel Oleone da Silva

Jocelaine Cargnelutti

Vanderlei Galina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318013>**CAPÍTULO 439****APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA AUXÍLIO À TOMADA DE DECISÃO DO MELHOR TRATAMENTO PARA A BORRA OLEOSA GERADA NA INDÚSTRIA PETROQUÍMICA**

Wanderbeg Correia de Araujo

Haron Calegari Fanticelli

Jose Oduque Nascimento de Jesus

Artur Saturnino Rodrigues

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318014>**CAPÍTULO 557****ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED IN DIFFERENT AREAS OF ROBOTICS**

Márcio Mendonça

Rodrigo Henrique Cunha Palácios

João P. S. Bertocini

Ivan R. Chrun

Wagner Fontes Godoy

José Augusto Fabri

Francisco de Assis Scannavino Junior

Lucas Botoni de Souza

Emanuel Ignacio Garcia

Marta Rúbia Pereira dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318015>

CAPÍTULO 677

AVALIAÇÃO DA PROBABILIDADE DE FALHA DE PÓRTICO PLANO DE AÇO SUJEITO A CARREGAMENTO GRAVITACIONAL E COM FLEXÃO EM TORNO DO EIXO DE MENOR INÉRCIA

Danilo Luiz Santana Mapa
 Marcilio Sousa da Rocha Freitas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318016>

CAPÍTULO 786

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ESPAÇO FÍSICO EM ACADEMIAS DE GINÁSTICA E MUSCULAÇÃO NA CIDADE DO RECIFE/PE

Emanoel Silva de Amorim
 Kássia Benevides Martins Gomes
 Girlândia de Moraes Sampaio
 Paula dos Santos Cunha Boumann
 Diogo Cavalcanti Oliveira
 José Allef Ferreira Dantas
 Ana Maria Batista Farias
 Hugo Leonardo França Silva
 Thiago Araújo de Menezes
 Arthur Henrique Neves Baptista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318017>

CAPÍTULO 897

COMPARAÇÃO DO FATOR DE SEGURANÇA UTILIZANDO ENVOLTÓRIAS DE RUPTURA LINEAR E CURVA. CASO DE ESTUDO MEDELLÍN – COLÔMBIA

Eduardo Montoya Botero
 George Fernandes Azevedo
 Hernán Eduardo Martinez Carvajal
 Edwin Fabian Garcia Aristizabal
 Newton Moreira de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318018>

CAPÍTULO 9 107

EFEITO DA ADIÇÃO DE DIFERENTES PROPORÇÕES DE FIBRAS DE COCO A GESSO DE FUNDIÇÃO

Karina Paula Barbosa de Andrade Lima
 Deborah Grasielly Cipriano da Silva
 Ana Luíza Xavier Cunha
 Kyriale Vasconcelos Morant Cavalcanti
 Felipe Bezerra de Lima
 Jackson José dos Santos
 Eyshila Paloma Costa de Brito
 Lucas Ítalo Santos Gomes
 Francisco das Chagas da Costa Filho

Fernanda Wanderley Corrêa de Araújo
 José Dantas Neto
 Romildo Morant de Holanda
 Yêda Vieira Póvoas

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3592318019>

CAPÍTULO 10.....121

EFEITO DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E NA ESTRUTURA DO AÇO TENAX 300IM

Carlos Triveño Rios
 Giselle Primo Samogin
 Debora Christina Ramos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180110>

CAPÍTULO 11 132

EFEITO DO ULTRASSOM NA EXTRAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS EM CHÁS: UMA REVISÃO

Camila Araújo Costa Lira
 Kamila de Lima Barbosa
 Tereza Raquel Pereira Tavares
 Anayza Teles Ferreira
 Antonia Ingrid da Silva Monteiro
 Maria Rayane Matos de Sousa Procópio
 Marcelo Henrique Raulino Soares Nunes
 Amanda Caúla Fontenele
 Izabel Cristina de Almeida Silva
 Francisca Andressa Rabelo da Silva França
 Andreson Charles de Freitas Silva
 José Diogo da Rocha Viana

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180111>

CAPÍTULO 12.....141

OS DESAFIOS DO GESTOR DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO EM UMA INDÚSTRIA DE PEQUENO PORTE

Alessandro Dias
 Maykon Aurélio Alves
 Natanael Oliveira
 Mayara dos Santos Amarante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180112>

CAPÍTULO 13.....161

POTENCIAL DE APLICAÇÃO DO RESÍDUO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ

Marcela Trojahn Nunes
 Fabiele Schaefer Rodrigues
 Jocenir Boita

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180113>

CAPÍTULO 14..... 169

REPLACEMENT OF CONVENTIONAL VEHICLES WITH ELECTRIC ONES ON THE MACROMETRÓPOLE PAULISTA: ENERGETIC AND ENVIRONMENTAL IMPACTS FOR THE HORIZON OF 2030

Guilherme Pedroso
João Marcos Pavanelli
Raiana Schimer Soares
Célio Bermann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180114>

CAPÍTULO 15.....203

UMA REFLEXÃO SOBRE A IMPORTÂNCIA DA GEOMECÂNICA PARA A ENGENHARIA DE PETRÓLEO

Elias Enes de Oliveira
Melissa Alves Fernandes
Geraldo de Souza Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180115>

CAPÍTULO 16..... 215

FISSURAÇÃO NO CONCRETO ARMADO: POSSÍVEIS CAUSAS E TÉCNICAS DE RESOLUÇÃO

Amanda Fernandes Pereira da Silva
Diego Silva Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.35923180116>

SOBRE A ORGANIZADORA225**ÍNDICE REMISSIVO.....226**

ANÁLISE DA DEFLEXÃO DE VIGAS E EIXOS POR ODE E SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL DE BAIXO CUSTO

Data de aceite: 02/01/2023

Cristian Comin

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Toledo, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6507120895561285>

Adabiel Oleone da Silva

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Toledo, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3212101904755523>

Jocelaine Cargnelutti

<http://lattes.cnpq.br/1606344234613977>
Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

Vanderlei Galina

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Toledo, Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5475732008218495>

RESUMO: A engenharia é um campo de conhecimento muito importante no desenvolvimento humano e crescimento das cidades modernas. Sendo assim, o presente trabalho tem por característica promover a interdisciplinaridade na análise de deflexão de vigas e eixos para pequenas deformações. Por meio da solução de uma equação diferencial ordinária linear de segunda ordem, em contraponto com

procedimentos experimentais, foi possível calcular o percentual de erro relativo entre o estudo analítico e a prática, assim como aferir análises acerca da teoria e aprofundar conhecimentos adquiridos. Através da realização da atividade foi possível verificar a aplicabilidade da teoria de deflexão para pequenas deformações de estruturas, gerando valores de erro percentual muito satisfatórios nas amostras previstas. A análise experimental foi realizada por acadêmicos de engenharia civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Toledo, utilizando ferramentas de baixo custo, em ambiente de obra, enfatizando a simulação dos conhecimentos técnicos e aproximando a teoria e a prática em situações de fácil aplicação.

PALAVRAS-CHAVE: Interdisciplinaridade. Resistência dos materiais. Equações diferenciais ordinárias. Ensino em engenharia.

DEFLECTION ANALYSIS OF BEAMS AND AXES BY ODE AND LOW COST EXPERIMENTAL SIMULATION

ABSTRACT: Engineering is a very important field of knowledge in the human

development and growth of modern cities. Therefore, the present work has the characteristic of promoting interdisciplinarity in the analysis of deflection of beams and axes for small deformations. By solving a second-order linear ordinary differential equation, in contrast to experimental procedures, it was possible to calculate the percentage of relative error between the analytical study and the practice, as well as to analyze the theory and deepen the acquired knowledge. Through the performance of the activity it was possible to verify the applicability of the deflection theory for small structures deformations, generating very satisfactory percentage error values in the predicted samples. The experimental analysis was carried out by civil engineering students from the Federal Technological University of Paraná, Toledo campus, using low-cost tools, in a constructions environment, emphasizing the simulation of technical knowledge and bringing theory and practice in easy to apply situations.

KEYWORDS: Interdisciplinarity. Strength of materials. Ordinary differential equations. Engineering teaching.

INTRODUÇÃO

A Engenharia desempenha papel fundamental na sociedade, na criação e inovação de tecnologias, proporcionando desenvolvimento e progresso (PAVANELO; GERMANO; FREITAS-LEMES, 2017). Sendo assim, se torna muito importante devido seus impactos nas esferas social, econômica e ambiental, tendo em vista que altera o meio ambiente onde atuam (ROHAN et al., 2016).

Por esse motivo, se tornou importante a implementação de exercícios de relevância para exercer na prática os conhecimentos teóricos transmitidos pelos docentes de disciplinas diferentes (PAVANELO; GERMANO; FREITAS-LEMES, 2017). Observa-se que dentre as disciplinas de formação básica de maior dificuldade dos cursos de engenharia, encontra-se as equações diferenciais, conforme Oliveira e Iglioni (2013), tanto na compreensão de conceitos e técnicas, quanto na aplicação contextualizada.

Com base no exposto acima, este trabalho tem a finalidade de integrar principalmente os conhecimentos de equações diferenciais, mecânica e resistência dos materiais, em um estudo da deflexão máxima suportada por uma viga engastada, por meio da comparação do resultado obtido no experimento com o teórico.

REFERENCIAL TEÓRICO

Aliando o conhecimento multidisciplinar teórico, baseado na análise de uma equação diferencial ordinária (EDO) de segunda ordem que descreve a curvatura de um eixo ou viga, com a prática experimental, pode-se comparar e validar a utilização dos métodos de análise de deformações de vigas e eixos.

Equação diferencial da linha elástica

Considerando a situação apresentada na Figura 1, representa-se um esquema

semelhante ao que será analisado no estudo de caso, uma viga engastada de comprimento L , com um carregamento concentrado P , na extremidade livre do eixo longitudinal da viga. Na Figura 2, observa-se a deformação da viga.

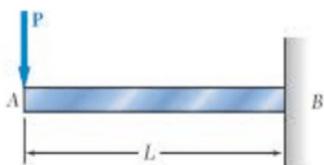


Figura 1 - Viga engastada

Fonte: Beer et al. (2015)

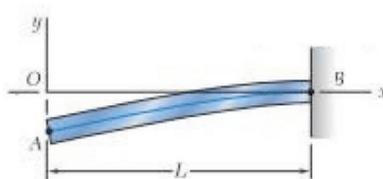


Figura 2 – Deformação da viga engastada

Fonte: Beer et al. (2015)

De modo sucinto, linha elástica é o diagrama de deflexão do eixo longitudinal que passa pelo centro de gravidade da viga ou eixo (HIBBELER, 2010). Segundo Fertis (1993), a lei de Euler-Bernoulli, define que o raio de curvatura descrito pela linha elástica de viga é inversamente proporcional ao momento fletor. Além disso, Hibbeler (2010) pontua que a deflexão das vigas, ou seja, o deslocamento da linha elástica, geralmente é muito pequena. Sendo assim, a relação que governa a linha elástica pode ser reduzida pela Equação (1), uma equação diferencial ordinária linear de segunda ordem (BEER et al., 2015),

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \quad (1)$$

Na expressão em (1), y descreve o deslocamento vertical da linha elástica, x indica a distância da seção analisada a partir da extremidade engastada da viga, M é o momento fletor, E é o módulo de elasticidade do material e I é o momento de inércia da seção transversal em relação à linha neutra (BEER et al., 2015). O produto EI , denominado rigidez à flexão, é inversamente proporcional à deflexão, conforme Mott e Untener (2018).

Módulo de Young e Momento de Inércia

O Módulo de Young, ou Módulo de Elasticidade, e o Momento de Inércia, são propriedades intrínsecas à peça em análise. De forma prática, Mott e Untener (2018) afirmam que o módulo de elasticidade quantifica a rigidez do material, ao passo que o momento de inércia, determinado por uma integral com elemento diferencial de área, é a rigidez da geometria da seção transversal da viga.

Para uma seção retangular, de base b e altura a , o momento de inércia é definido pela Equação (2),

$$I_x = \frac{ba^3}{12} \quad (2)$$

Em uma seção circular, de diâmetro d , o momento de inércia é determinado pela Equação (3),

$$I_x = \frac{\pi d^4}{64} \quad (3)$$

ESTUDO DE CASO

Este estudo concentra-se em vigas e eixos engastados, solicitados por um carregamento concentrado na extremidade livre da peça. Essa situação é comumente encontrada nas denominadas vigas em balanço, que fazem parte da estrutura de sacadas e marquises, ou ainda em escadas com degraus engastados.

De forma geral, estuda-se uma viga em balanço de comprimento L , como na Figura 3, em que w_1 representa o peso próprio da viga por unidade de comprimento e P_1 a força externa.

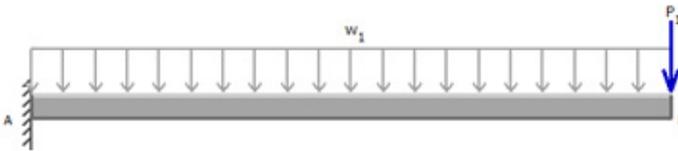


Figura 3 - Viga Engastada do Estudo de Caso

Fonte: Beer et al. (2015)

Para determinar o momento fletor em função de x é necessário realizar uma análise de corpo livre de uma seção da viga (HIBBELER, 2010). Pela análise das equações de equilíbrio da estática, tem-se a Equação (4) que governa o momento fletor da viga,

$$M(x) = \frac{w_1 L^2}{2} + P_1 L - w_1 Lx - P_1 x + \frac{w_1 x^2}{2} \quad (4)$$

Com a equação do momento fletor escrita em função da variável independente x , basta substituir a Equação (4) na Equação (1), multiplicando ambos os lados da equação resultante por EI e integrando em relação a x para obter a Equação (5),

$$EI \frac{dy}{dx} = \frac{w_1 L^2 x}{2} + P_1 Lx - \frac{w_1 Lx^2}{2} - \frac{P_1 x^2}{2} + \frac{w_1 x^3}{6} + C_1 \quad (5)$$

Integrando a Equação (5) em relação a variável x , obtém-se a Equação (6),

$$Ely(x) = \frac{w_1 L^2 x^2}{4} + \frac{P_1 L x^2}{2} - \frac{w_1 L x^3}{6} - \frac{P_1 x^3}{6} + \frac{w_1 x^4}{24} + C_1 x + C_2 \quad (6)$$

As constantes C_1 e C_2 são determinadas a partir das condições de contorno, as quais estão intrínsecas às situações de apoio e carregamento da viga. Nota-se, na Figura 3, que a inclinação da linha elástica é zero na extremidade A, portanto $dy/dx=0$ quando $x=0$; assim como em $x=0$ tem-se que $y=0$, portanto $C_1=0$ e $C_2=0$. Então, a equação da linha elástica da viga engastada é,

$$Ely(x) = \frac{w_1 L^2 x^2}{4} + \frac{P_1 L x^2}{2} - \frac{w_1 L x^3}{6} - \frac{P_1 x^3}{6} + \frac{w_1 x^4}{24} \quad (7)$$

O valor crítico se encontra na extremidade livre da viga ou eixo em balanço, isto é, no ponto B onde $x=L$. Substituindo $x=L$ na Equação (7) e realizando as manipulações algébricas necessárias, obtém-se o valor de y que representa a deflexão máxima da viga em análise,

$$y_{\text{máx}} = \frac{-1}{EI} \left(\frac{w_1 L^4}{8} + \frac{P_1 L^3}{3} \right) \quad (8)$$

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

No primeiro ensaio realizado, os materiais explorados foram: vigas de madeira Tauari (*Couratari spp.*, segundo Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo - IPT (2013)) de seção transversal retangular de base igual a 4,8 cm e altura de 2,4 cm; anilhas de 3, 5 e 10 kg; prego e arames para dependurar as anilhas na viga; régua de 1 m e trena.

Com os materiais dispostos, foram ensaiadas vigas com 50 e 75 cm de comprimento, afixadas em um suporte de madeira com parafusos, de modo a impedir o deslocamento e rotação do engaste nos eixos x , y e z . Assim configurado, foram dependuradas as anilhas na extremidade livre das vigas, respectivamente, configurando cargas de 3, 5, 15 e 18 kgf (quilograma-força). Com o uso da régua, foi comparada a altura da extremidade da viga sem carga, e posteriormente, com os pesos afixados, determinando a devida deflexão do ponto mais crítico (extremidade livre). A Figura 4 e a Figura 5 ilustram o experimento.



Figura 4 - Viga de madeira de 50 cm com 3 kgf de carregamento

Fonte: Autoria própria (2020).



Figura 5 - Viga de madeira de 50 cm com 18 kgf de carregamento

Fonte: Autoria própria (2020).

Outro ensaio foi realizado com barras de aço CA 50 5/16" (8 mm de diâmetro). Os materiais utilizados foram: barras de aço de 8 mm de diâmetro; anilhas de 3, 5 e 10 kg; arames; régua de 1 m e trena, como observado na Figura 6 e Figura 7.

O estudo foi realizado com diferentes comprimentos de barra: 40, 50, 25 e 12,5 cm. Estas foram afixadas em um muro de arrimo e solicitadas com os pesos na extremidade.

RESULTADOS E ANÁLISE

Para o estudo analítico, foi adotado o Módulo de Elasticidade à flexão de 10591 MPa e densidade de 610 kg/m³ (IPT, 2013) para a madeira Tauari.



Figura 6 – Barra de 40 cm com 5 kgf de carregamento

Fonte: Autoria própria (2020).



Figura 7 – Barra de 40 cm com 3 kgf de carregamento

Fonte: Autoria própria (2020).

Do mesmo modo, a fim de converter a massa da viga para peso, unidade Newtons (N), foi adotada a aceleração da gravidade como 9,807 m/s². Sendo assim, aplicando a Equação (8), apresenta-se um comparativo no Quadro 1.

Tamanho da Viga (mm)	Carga concentrada (kgf)	Deflexão Teórica (mm)	Deflexão Exp. (mm)	Erro Relativo (%)
500	3	2,18	2,1	3,67
	5	3,58	4	11,73
	10	7,07	6,2	12,3
	15	10,56	10,7	1,32
	18	12,65	13,4	5,93
750	3	7,53	6,1	19
	5	12,24	10,5	14,21
	10	24,01	23	4,2
	15	35,79	34,5	3,6
	18	42,85	42	1,98

Quadro 1 – Resultados das Vigas Engastadas de Madeira.

Fonte: Autoria própria (2020).

Tamanho da barra (mm)	Carga concentrada (kgf)	Deflexão Teórica (mm)	Deflexão Exp. (mm)	Erro Relativo (%)
500	3	31,24	31	0,77
	5	51,56	58,1	12,68
	10	102,37	140,6	37,34
400	3	15,92	16	0,5
	5	26,32	29,5	12,08
	10	52,33	57	8,92
250	3	3,88	5	28,86
	5	6,4	8	25
	10	12,74	16	25,59
125	3	0,48	0,5	4,17
	5	0,8	1	25
	10	1,59	2	25,79

Quadro 2 – Resultados dos Eixos de Aço.

Fonte: Autoria própria (2020).

Para os cálculos de deflexão das barras de aço (CA 50 de 8 mm de diâmetro), configurando uma situação de deflexão de eixos, a NBR 7480:2007 especifica a densidade linear dos vergalhões utilizados para concreto armado com 0,395 kg/m. Utilizando este dado e o Módulo de Elasticidade com o valor de 200 GPa (BEER et al., 2010), foi possível realizar a comparação dos resultados expostos no Quadro 2.

Em relação às vigas de madeira observa-se que a viga de 750 mm apresentou comportamento padrão, com decrescente erro relativo ao passo em que se acrescenta

maior carga. Já a viga de 500 mm não mostrou a mesma regularidade, resultando erros relativos menores que 6% quando aplicadas cargas de 3, 15 e 18 kgf, e acima de 10% com aplicação de 5 e 10 kgf.

Sobre as barras de aço, pode-se notar que os eixos de maior comprimento, 400 e 500 mm, tiveram resultados satisfatórios com pesos de 3 e 5 kgf, apresentando erros relativos semelhantes e progressivos; quanto maior o peso, maior o erro. Já as vigas menores, 125 e 250 mm, revelaram erros semelhantes, porém, maiores na maioria dos casos, quando aplicado pesos de 5 e 10 kgf.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, observa-se que a diferença percentual entre os dados analíticos e os experimentais foram maiores para as barras de aço, quando a deflexão é relativamente grande em relação à dimensão do material, visto que a Equação (1) é aplicada apenas para pequenas deformações, como fora adotado na sua modelagem.

Vale ressaltar a possível ocorrência de fontes de erro na parte experimental do estudo, haja vista a utilização de materiais comuns do cotidiano. Por se tratar muitas vezes de deformações diminutas, frações de milímetro fazem diferença no erro percentual. Uma evidência disso, é o fato de que na deflexão de vigas de madeira, os menores erros relativos de cada comprimento ocorreram com a carga de 15 kgf, ou seja, um intermediário, em que permite uma leitura melhor, por não provocar uma deflexão tão diminuta, e ao mesmo tempo não excede o intervalo de aplicação da teoria.

Ademais, a interdisciplinaridade no desenvolvimento do projeto motivou os alunos a busca por conhecimento, auxiliando na concretização dos conceitos e técnicas adquiridas em sala, no trabalho em equipe e no planejamento.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos professores orientadores pelo apoio técnico e científico, e ao Sr. Dirceu Eloi Comin, ao conceder material e experiência para o estudo prático em vigas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação. Rio de Janeiro, 2007.

BEER, Ferdinand P. *et al.* **Mecânica dos Materiais**. 7ª edição, Porto Alegre: AMGH Editora LTDA. 2015.

FERTIS, D. G. **Nonlinear Mechanics**. Florida: CRC Press. 1993.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos Materiais**. São Paulo: Pearson Prentice Hall. 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo: IPT. 2013.

MOTT, Robert L; UNTENER, Joseph A. **Applied Strength of Materials**. 6ª edição, Boca Raton: Taylor & Francis, CRC Press, 2018.

OLIVEIRA, Eliane Alves de; IGLIORI, Sonia Barbosa Camargo. **ENSINO E APRENDIZAGEM DE EQUAÇÕES DIFERENCIAIS: Um levantamento preliminar da produção científica**. Revista de Educação Matemática e Tecnológica Iberoamericana, Pernambuco. v. 4, n. 2, 2013.

PAVANELO, Elisângela; GERMANO, José Silvério Edmundo; FREITAS-LEMES, Priscila Lourenço. **A interdisciplinaridade em cursos de engenharia**. Belo Horizonte: Rev. Docência Ens. Sup, v. 7, n. 2, p. 130-148. 2017.

ROHAN, Ubiratan; SOARES, Carlos Alberto Pereira; FRANÇA, Sergio Luiz Braga; MEIRIÑO, Marcelo Jasmim. **A FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO CIVIL INOVADOR BRASILEIRO FRENTE AOS DESAFIOS DA TECNOLOGIA, DO MERCADO, DA INOVAÇÃO E DA SUSTENTABILIDADE**. In: XII Congresso Nacional de Excelência em Gestão e III INOVARSE – Responsabilidade Social Aplicada, 2016, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, 2016.

A

Acessibilidade arquitetônica 87

Aço ferramenta 121, 124, 128, 129

Análise avançada 77, 84, 85

Artificial intelligence 57, 58, 59, 60, 65, 66, 68, 73, 74, 76

Autonomous vehicle 58, 59

Avaliação pós ocupação 87

B

Borra oleosa 39, 40, 41, 42, 46, 47, 53

C

Chuvas 98

Cinza de casca de arroz 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168

CO₂ emissions 169, 172, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 183, 185, 188, 189, 190, 191, 194, 195, 196, 197

Competitividade 2, 141, 142, 150, 198

Cristobalita 161, 165, 167

D

Desafios 38, 141, 142, 143, 146, 147, 148, 151, 156, 158, 159, 204, 205

Desenvolvimento 2, 6, 7, 20, 30, 31, 37, 39, 43, 54, 87, 88, 95, 105, 120, 141, 142, 145, 147, 148, 159, 167, 198, 205, 206, 213

E

Eixo de menor inércia 77, 79, 81, 83, 84, 85

Electric vehicle 169, 171, 179, 200, 201

Empresa 1, 2, 39, 41, 46, 47, 48, 52, 53, 109, 123, 141, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 201

Energy consumption 169, 170, 174, 181, 182, 185, 188, 189, 190, 191, 192, 195

Engenharia 6, 8, 9, 12, 13, 20, 21, 22, 24, 29, 30, 31, 38, 54, 57, 85, 86, 87, 96, 106, 118, 119, 120, 121, 130, 132, 141, 142, 143, 144, 146, 157, 164, 168, 203, 204, 205, 208, 209, 210, 212, 213, 214, 215, 219, 224, 225

Engenharia de Petróleo 203, 204, 205, 209, 210, 212, 213, 214

Ensino em engenharia 30

Envoltória curva 97, 98, 104

Equações diferenciais ordinárias 30

Ergonomia 87, 88, 90, 91, 93, 95, 96

Escorregamentos 97, 98, 99, 100

Extração de fitoquímicos 133

F

Fator de segurança 12, 97, 98, 99, 102, 105

Fibra natural 108, 110

Fissuras 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224

G

Geomecânica 101, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214

Gesso de fundição 107, 108, 110, 113, 115, 117

Gestão 1, 2, 3, 4, 38, 86, 119, 120, 141, 144, 146, 147, 148, 151, 152, 155, 156, 157, 158, 159

I

Impacto 14, 15, 17, 49, 121, 122, 123, 127, 128, 129, 141, 142, 150

Índice de confiabilidade 5, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 26, 27, 79, 80, 84

Interdisciplinaridade 30, 37, 38

M

Macrometrópole Paulista 169, 172, 176, 197, 199

Matriz curricular 203, 209, 210

Mecânica das rochas 203, 204, 206, 208, 209, 210, 211

Método AHP 39, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 53, 54

Método Monte Carlo 5, 10

Modos de falha 5, 8, 18

P

Patologias 215, 216, 217, 218, 219, 223, 224

Polifenóis 133, 134, 136, 138, 139

Pórtico de aço 77

Precision agriculture 58, 65

Probabilidade de falha 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 77, 79, 80, 83, 84

Processos empresariais 1

Q

Qualidade 1, 2, 3, 4, 86, 87, 88, 89, 93, 95, 96, 122, 133, 134, 139, 144, 146, 148, 152, 154, 161, 162, 167, 218

R

Resíduos sólidos 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 53, 54, 55, 120

Resistência dos materiais 8, 9, 30, 31, 38

Resistência mecânica 108, 116, 117

S

SiO₂ 161, 165, 166, 167

Superfície de estado limite 5, 7

T

Tecnologias para o tratamento de borra oleosa 39

Tenacidade 121, 122, 128, 130

TENAX 300IM 121, 122, 123, 124, 125, 126, 128, 129

U

Unmanned aerial vehicle 58

Urban transport 169, 170, 198

ENGENHARIAS:

Pesquisa, desenvolvimento e inovação 3



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

ENGENHARIA- RIAS:

Pesquisa, desenvolvimento
e inovação 3



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