

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL 3



ARMANDO DIAS DUARTE
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL 3



ARMANDO DIAS DUARTE
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Camila Alves de Cremona

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

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 Exatas e da Terra e Engenharias

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

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

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

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

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

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizador: Armando Dias Duarte

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D812 Coleção desafios das engenharias: engenharia civil 3 /
Organizador Armando Dias Duarte. - Ponta Grossa -
PR: Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-639-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.390212610>

1. Engenharia civil. I. Duarte, Armando Dias. II. Título.
CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

APRESENTAÇÃO

A coleção de trabalhos intitulada “Coleção desafios das engenharias: Engenharia Civil 3” é uma obra que tem como foco principal a discussão científica por intermédio de trabalhos diversos que compõe seus capítulos. O volume abordará de forma categorizada e interdisciplinar trabalhos, pesquisas, relatos de casos e/ou revisões que através dos resultados, possam auxiliar na tomada de decisão, tanto no campo acadêmico, quanto no desenvolvimento profissional.

Os estudos apresentados, foram desenvolvidos em diversas instituições de ensino e pesquisa do país e também um caso internacional. Em todos esses trabalhos foram apresentadas diversas problemáticas a respeito do estudo de interação solo-estrutura, orçamento de obras, desempenho de materiais, aditivos para materiais da construção civil, análises através da ferramenta Building Information Modelling (BIM), gestão de resíduos **sólidos**, entre outros. Os estudos presentes nos trazem à tona, temas interdisciplinares através da segurança de obras civis, aspectos econômicos, sociais e ambientais.

Os temas discutidos nesta obra, possuem a proposta de fundamentar o conhecimento de acadêmicos, mestres e todos aqueles que de alguma forma se interessam pela área da Engenharia Civil, com temáticas atuais e que são apresentadas como desafios enfrentados pelos profissionais e acadêmicos, deste modo a obra “Coleção desafios das engenharias: Engenharia Civil 3”, apresenta uma teoria fundamentada nos resultados práticos obtidos pelos diversos professores e acadêmicos que desenvolveram seus trabalhos e pesquisas, os quais serão apresentados de maneira concisa e didática.

A divulgação científica é de suma importância para o desenvolvimento de toda uma nação, portanto, fica evidenciada a responsabilidade de transmissão dos saberes através de plataformas consolidadas e confiáveis, sendo a Atena Editora, capaz de oferecer uma maior segurança para os novos pesquisadores e os que já atuam nas diferentes áreas de pesquisa, exporem e divulguem seus resultados.

Armando Dias Duarte


SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ANÁLISE DA INTERAÇÃO SOLO-ESTRUTURA EM EDIFICAÇÕES DE CONCRETO ARMADO SOBRE FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS

Mateus Lima Barros

Vinicius Costa Correia


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126101>

CAPÍTULO 2..... 13

ANÁLISE DE HASTES DELGADAS EM GRELHAS HIPERESTÁTICAS

Antônio Luís Alves da Cunha

Luiz Carlos Mendes


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126102>

CAPÍTULO 3..... 28

ANÁLISE DE SÓLIDOS INELÁSTICOS SOB DEFORMAÇÃO FINITA USANDO ELEMENTOS BIARTICULADOS 2D E 3D

William Taylor Matias Silva

Sebastião Simão da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126103>

CAPÍTULO 4..... 46


APLICAÇÃO DA NORMA ABNT NBR 16747 (2020) – INSPEÇÃO PREDIAL EM EMPREENDIMENTOS RURAIS – ESTUDO DE CASO

Camilla Cristina Cunha Menezes

Marcos de Paulo Ramos

Thiago Pena Bortone

Rachel Jardim Martini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126104>

CAPÍTULO 5..... 58


APLICAÇÃO DE CURSO EXTENSÃO DE ORÇAMENTO DE OBRAS EM BIM COMPARANDO COM A METODOLOGIA ATUAL DA DISCIPLINA DE ORÇAMENTO DE OBRAS DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO FEDERAL DE SERGIPE – CAMPUS ESTÂNCIA

Anna Cristina Araujo de Jesus Cruz

José Carlos de Anunciação Cardoso Júnior

Mariana Silveira Araujo

Natália Ramos dos Santos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126105>


CAPÍTULO 6..... 67

CORROSÃO NA ARMADURA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO DEVIDO AO ATAQUE DE SULFATOS

Henrique Resende dos Santos

Adriano de Paula e Silva


Eduardo Chahud
Cristiane Machado Parisi Jonov

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126106>

CAPÍTULO 7..... 78

DANOS PÓS INCÊNDIO NA ESTRUTURA DE UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA. UM ESTUDO DE CASO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO


Rodolpho Medeiros Frossard
Anna Luiza Macachero Victor Rodrigues
Lara Sandrini
Matheus Carreiro Zani
Warribe Lima de Siqueira
Geilma Lima Vieira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126107>

CAPÍTULO 8..... 90

DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE CONCRETOS CONVENCIONAIS SUBMETIDOS A ALTAS TEMPERATURAS E RESFRIAMENTO LENTO


Moacyr Salles Neto
Flávio Roldão de Carvalho Lelis

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126108>

CAPÍTULO 9..... 103

DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HOSPITALARES VIA DIMENSÕES MORFOLÓGICAS


Alyria Donegá
João da Costa Pantoja

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3902126109>

CAPÍTULO 10..... 115

DIFICULDADE DOS DISCENTES DE ENGENHARIA CIVIL NA MATÉRIA DE MECÂNICA VETORIAL COMPARANDO OS PARÂMETROS DO ENSINO PRESENCIAL E DO ENSINO REMOTO

Alessandro Leonardo da Silva
Emanuela dos Santos Gonzaga
Gustavo Neves Quintão Gonzales
Marcelo Robert Fonseca Gontijo
Thais Prado Vasconcelos Silva
Rodrigo Silva Fonseca
Heron Viterbre Debique Sousa
Ícaro Viterbre Debique Sousa


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261010>

CAPÍTULO 11..... 125

EFEITO DO TEOR e TIPO de CIMENTO NO MÓDULO DE RESILIÊNCIA DE SOLO ARENOSO ESTABILIZADO QUIMICAMENTE

José Wilson dos Santos Ferreira
Michéle Dal Toé Casagrande

Raquel Souza Teixeira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261011>

CAPÍTULO 12..... 136

ESTUDIOS DE PELIGRO SÍSMICO EN EL MUNICIPIO DE IXHUACÁN DE LOS REYES, VERACRUZ

Gilbert Francisco Torres Morales


Ignacio Mora González

Saúl Castillo Aguilar

René Álvarez Lima

Raymundo Dávalos Sotelo

José Alberto Aguilar Cobos


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261012>

CAPÍTULO 13..... 150

ESTUDO DA APLICAÇÃO DO LÁTEX DA SERINGUEIRA AMAZÔNICA (*HEVEA BRASILIENSIS*) COMO ADITIVO EM ARGAMASSA COM CIMENTO PORTLAND PARA MELHORA DE COMPORTAMENTO MECÂNICO

José Costa Feitoza

Natália da Mata Batista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261013>

CAPÍTULO 14..... 160


ESTUDO DE UMA CONTENÇÃO UTILIZANDO FERRAMENTA NUMÉRICA E MÉTODOS APROXIMADOS DE DIMENSIONAMENTO DE TIRANTES

Renathielly Fernanda da Silva Brunetta

Isabela Grossi da Silva

Leandro Canezin Guideli

Vitor Pereira Faro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261014>

CAPÍTULO 15..... 173

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO NO GNAISSE MILONÍTICO

Kelly de Oliveira Borges da Costa

Afonso Rangel Garcez de Azevedo

Carlos Maurício Fontes Vieira


Elaine Aparecida Santos Carvalho Costa

Geovana Carla Girondi Delaqua

Gustavo de Castro Xavier

Letícia Borges da Costa

Vinícius Alves Polinicola

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261015>


CAPÍTULO 16..... 183

VIGAS DE GRAN ALTURA DE HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE

Viviana Carolina Rougier

Miqueas Ceferino Denardi

Dario Orestes Vercesi

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261016>

CAPÍTULO 17..... 195

GESTÃO E OPERAÇÃO DE SISTEMAS DE AR CONDICIONADO: UMA NOVA ABORDAGEM USANDO MODELAGEM 6D

João Bosco Pinheiro Dantas Filho

Guilherme Bruno de Souza Ribeiro

Pedro Holanda

Bruna Vital Roque

Rodrigo G. Ribeiro

Artur de Almeida Evangelista

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261017>

CAPÍTULO 18..... 206

GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS GRAÚDOS COMERCIALIZADOS NOS MUNICÍPIOS DA CHAPADA DO APODI/RN – ANÁLISE COMPARATIVA COM A NORMA NBR 7211/2009

Renata Samyla Matias Nogueira

Clélio Rodrigo Paiva Rafael

Edna Lucia da Rocha Linhares

Ronald Assis Fonseca

Rokátia Lorrany Nogueira Marinho

Ligia Raquel Rodrigues Santos

Jaiana de Araújo Pinheiro

Carlos Eduardo Carvalho Oliveira

Edyelly Cristtian Galdino Fernandes

Francisco Felinto de Lima Neto

Luzianne Galvão Pimenta

Géssica de Moura Ribeiro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261018>

CAPÍTULO 19..... 221


INSPEÇÃO PREDIAL EM EMPREENDIMENTOS RURAIS APLICABILIDADE DA NBR 16747

Camilla Cristina Cunha Menezes

Marcos de Paulo Ramos

Thiago Pena Bortone

Rachel Jardim Martini

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261019>

CAPÍTULO 20..... 232


GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Wallace Ribeiro Nunes Neto

Camila Moraes Silva

Pedro Paulo Barbosa Nunes Sobrinho


Carlos Augusto Rocha de Moraes Rego
Louryval Coelho Paixão
Marcio Mendes Cerqueira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261020>

CAPÍTULO 21..... 241

LOCUS SAECULARIS: MATERIAIS QUE CONSTRÍRAM UMA TRADIÇÃO


João Hermem Fagundes Tozatto
Crystian André Montozo Botelho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261021>

CAPÍTULO 22..... 253

MODELAGEM NUMÉRICA DE PAREDE DIAFRAGMA ATIRANTADA EM ÁREA URBANA

Isabela Grossi da Silva
Renathielly Fernanda da Silva Brunetta
Leandro Canezin Guideli
Vitor Pereira Faro

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261022>

CAPÍTULO 23..... 266

NOVA TECNOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DE TORRES EÓLICAS


Ilo Borba

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261023>

CAPÍTULO 24..... 273

O CORREDOR BIOCEÂNICO: REESTRUTURAÇÃO TERRITORIAL DE NOVAS HINTERLÂNDIAS


Carlos Andrés Hernández Arriagada
Teo Felipe Bruder Gouveia




 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261024>

CAPÍTULO 25..... 287

O MAPA DE DANOS COMO FERRAMENTA DE MANUTENÇÃO E RESTAURO DE EDIFICAÇÕES: UMA REVISÃO LITERÁRIA

Lucas Rodrigues Cavalcanti
Eliana Cristina Barreto Monteiro
Carlos Fernando Gomes do Nascimento
Catharina Silveira Rodrigues
Fabrício Fernando de Souza Lima
Amanda de Moraes Alves Figueira
José Maria de Moura Júnior
Sabrina Santiago Oliveira
Roberto Revoredo de Almeida Filho
Flávio Matheus de Moraes Cavalcante

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261025>

CAPÍTULO 26	302
TREINAMENTO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA O DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO	
João Victor Fernandes Masalkas	
Emerson Felipe Felix	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261026	
CAPÍTULO 27	316
UMA FORMULAÇÃO ANALÍTICA PARA DETECÇÃO DE PONTOS LIMITES E DE BIFURCAÇÃO	
William Taylor Matias Silva	
Sebastião Simão da Silva	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261027	
CAPÍTULO 28	333
UTILIZAÇÃO DO CARVÃO OBTIDO A PARTIR DA PIRÓLISE DA CASCA DE ARROZ PARA ADSORÇÃO DE AZUL DE METILENO	
Camila Ribeiro Rodrigues	
Marcelo Mendes Pedroza	
Mayara Shelly Miranda Bequimam	
David Barbosa Dourado	
Danielma Silva Maia	
Marcel Sousa Marques	
Hellen Dayany Barboza Barros	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.39021261028	
SOBRE O ORGANIZADOR	338
ÍNDICE REMISSIVO	339

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO TRATAMENTO TÉRMICO NO GNAISSE MILONÍTICO

Data de aceite: 01/10/2021

Data de submissão: 20/08/2021

Kelly de Oliveira Borges da Costa

UENF – Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro
Campos dos Goytacazes/RJ
<http://lattes.cnpq.br/9730727376903298>

Afonso Rangel Garcez de Azevedo

UENF – Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro
Campos dos Goytacazes/RJ
<http://lattes.cnpq.br/5332016516191423>

Carlos Maurício Fontes Vieira

UENF – Universidade estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro
Campos dos Goytacazes/RJ
<http://lattes.cnpq.br/6309884585355966>

Elaine Aparecida Santos Carvalho Costa

UENF – Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro
Campos dos Goytacazes/RJ
<http://lattes.cnpq.br/2265929820644777>

Geovana Carla Girondi Delaqua

UENF – Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro
Campos dos Goytacazes/RJ
<http://lattes.cnpq.br/4073871508344095>

Gustavo de Castro Xavier

UENF – Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro
Campos dos Goytacazes/RJ
<http://lattes.cnpq.br/3352299366515964>

Letícia Borges da Costa

UENF – Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro
Campos dos Goytacazes/RJ
<http://lattes.cnpq.br/8130750511834675>

Vinícius Alves Polinicola

UENF – Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro
Campos dos Goytacazes/RJ
<http://lattes.cnpq.br/3415057723098400>

RESUMO: O efeito do tratamento térmico em rochas de diversas litologias acarreta alteração na microestrutura e variações da resistência mecânica, que influenciam na sua durabilidade e tornam relevantes os estudos do comportamento desses geomateriais aplicados na segurança em casos de incêndios em túneis, cavernas, edifícios e restaurações. Nesse sentido, este trabalho vem contribuir no estudo dos efeitos de altas temperaturas no gnaiss comercialmente conhecido como pedra madeira verde, avaliando as variações em suas propriedades microestruturais e resistência mecânica à compressão uniaxial. A metodologia usada consiste no tratamento térmico realizado de forma lenta, com as amostras colocadas em um forno mufla, com a taxa de aquecimento de 2 °C/minutos até atingir as temperaturas determinadas de 200 °C, 400 °C, 750 °C e 1100 °C, mantidas aquecidas por 1 hora na temperatura limite, e posteriormente resfriadas. Devido ao aquecimento sofrido, observa-se a recristalização da matriz e os cristais de hornblenda e alguns minerais opacos que se

desestabilizaram, alteraram e exsolveram. Para a rocha sã, os valores obtidos na densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água atendem aos requisitos especificados pela norma brasileira ABNT NBR 15845/2015. Com o acréscimo da temperatura, surgem novos poros e a interconexão entre os poros, possibilitando a intrusão máxima de 0,0332 ml/g de mercúrio para a temperatura de 1100°C. A resistência à compressão uniaxial tem um incremento máximo de 24,4% na temperatura de 750°C, em temperaturas superiores ocorre o decaimento da resistência mecânica. Microestruturalmente, a rocha apresentou precipitação na superfície dos minerais félsicos e desequilíbrio dos minerais opacos, formando minerais secundários e cristais. Houve aumento da porosidade aparente e da absorção de água, e conseqüentemente, a redução da densidade aparente. Ao término do estudo, conclui-se que a metodologia aplicada mostrou-se eficaz para o estudo da influência de altas temperaturas no gnaíse.

PALAVRAS - CHAVE: Tratamento Térmico, Gnaíse, Durabilidade

EVALUATION OF THE EFFECTS OF THERMAL TREATMENT ON MILONITE GNAISSE

ABSTRACT: The effect of heat treatment on rocks from different lithology causes changes in the microstructure and variations in mechanical strength, which influence their durability and make studies of the behavior of these geomaterials applied in safety in cases of fires in tunnels, caves, buildings and restorations relevant. In this sense, this work contributes to the study of the effects of high temperatures on gneiss commercially known as green wood stone, evaluating the variations in its microstructural properties and mechanical resistance to uniaxial compression. The methodology used consists of the heat treatment carried out slowly, with the samples placed in a muffle oven, with a heating rate of 2 °C/minute until reaching the determined temperatures of 200 °C, 400 °C, 750 °C and 1100 °C, kept warm for 1 hour at the limit temperature, and then cooled. Due to the heating suffered, the matrix recrystallizes and the hornblende crystals and some opaque minerals destabilized, altered and dissolved. For sound rock, the values obtained in apparent density, apparent porosity and water absorption meet the requirements specified by the Brazilian Standard ABNT NBR 15845/2015. With the increase in temperature, new pores and interconnection between the pores appear, allowing a maximum intrusion of 0.0332 ml/g of mercury at a temperature of 1100°C. The uniaxial compressive strength has a maximum increase of 24.4% at the temperature of 750°C, at higher temperatures there is a decrease in mechanical strength. Microstructurally, the rock showed precipitation on the surface of felsic minerals and imbalance of opaque minerals, forming secondary minerals and crystals. There was an increase in apparent porosity and water absorption, and consequently, a reduction in bulk density. At the end of the study, it is concluded that the applied methodology proved to be effective for the study of the influence of high temperatures on gneiss.

KEYWORDS: Heat Treatment, Gneiss, Durability

1 | INTRODUÇÃO

A utilização de rochas naturais remonta à história da humanidade, quer de forma rudimentar quer em grandes construções. Ao longo da história a sua utilização

se intensificou, diversificou e atualmente as rochas vêm sendo aplicadas em diversas finalidades construtivas, tais como: minas, túneis, cantaria, pavimentos, agregados para concreto, lastros, fundações, revestimento de edificações, obras de arte, entre outros.

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento e lustro.

No contexto de aplicação como revestimento de interiores e exteriores, LIMA (2006) enfatiza que as rochas devem atender aos requisitos de qualidade para apresentar um bom desempenho quanto a resistência ao intemperismo, aos agentes químicos, manchamentos e deteriorações e a solicitações mecânicas.

Pesquisas recentes chamam a atenção por abordarem uma série de investigações associadas aos efeitos da alta temperatura em diferentes rochas, avaliando o dano térmico, a variação das propriedades mecânicas e a segurança da sua utilização em virtude dos efeitos decorrentes da exposição ao calor .

O estudo destes efeitos é relevante para segurança contra incêndio em túneis, cavernas, edifícios, restauração de monumentos, no processo de restauração de edifícios danificados pelo fogo, em edifícios históricos, vulnerabilidade ao fogo e metodologias de avaliação de risco (FREIRE-LISTA *et al.* 2016; SIRDESAI *et al.* 2018; BIRÓ *et al.* 2019, MARTINHO *et al.* 2020)

Na literatura não há um consenso sobre a taxa de aquecimento e a temperatura adequada para o tratamento térmico. Para o estudo de incêndio, HAJPÁL E TÖRÖK (2004) descrevem duas categorias principais de temperaturas de incêndios, uma faixa abaixo de 800°C, e outra em torno de 1200°C. ZHU *et al.* (2018), destaca a importância de estender o estudo a altas temperaturas e à diversas litologias.

Devido à diversidade litológica e mineralógica, faz-se necessária uma investigação sistemática envolvendo vários tipos de rochas e faixas de temperatura. Nesse sentido, este artigo vem contribuir no estudo dos efeitos de altas temperaturas em um gnaisse, objetivando o tratamento térmico do gnaisse, para avaliar as variações em suas propriedades microestruturais e resistência mecânica à compressão uniaxial e conseqüentemente a durabilidade e segurança de utilização dessas rochas em situações que envolvam incêndio ou irradiação de calor, com as temperaturas entre 200 e 1100°C.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A rocha estudada é comercialmente chamada de pedra madeira verde, extraído na cidade de Santo Antônio de Pádua, no Estado do Rio de Janeiro, sendo comercializada na forma de placas conhecidas como lajinhas. O protólito de pedra Madeira Verde é uma rocha ígnea de composição granítica, apresentando um estrato composicional marcado por faixas brancas, com maior quantidade de plagioclásio em relação ao feldspato potássico.

A petrografia aponta que a rocha é um gnaiss milonitizado, mostrado na Figura 1, caracterizado por cristais fitados (*ribbon*) de quartzo e minerais opacos maiores orientados paralelamente aos ribbons, com rara ocorrência de porfiroclasto de K-feldspato e de anfibólio. A rocha é composta por plagioclásio, quartzo, piroxênio, ortoclásio e opacos, como material de alteração possui hornblenda, carbonato e sericita, e como mineral acessório, zircão. Estes minerais estão inseridos em meio a uma matriz recristalizada.

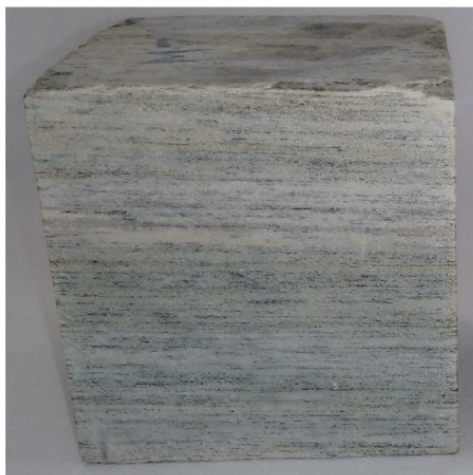
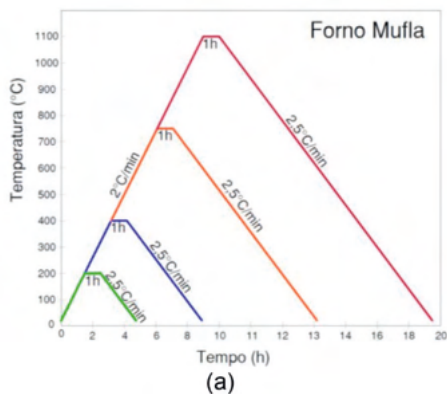


Figura 1 – Pedra Madeira Verde – Gnaiss Milonítico.

O método de estudo mais difundido para avaliar os efeitos de incêndios em rochas é o tratamento térmico expondo as amostras ao calor em forno. Neste trabalho, a metodologia adotada para o tratamento térmico foi aquecer as amostras em um forno mufla, com a taxa de aquecimento de 2 °C/minutos até atingir as temperaturas determinadas de 200 , 400, 750 e 1100 °C, que equivalem a temperaturas de incêndios de pequena a grande proporção, onde ocorre o colapso das rochas.

Os corpos de prova foram mantidos na temperatura estabelecida por 1 hora para garantir o total aquecimento das amostras e as alterações das propriedades na temperatura desejada. Decorrido esse tempo, o resfriamento no forno deu-se a 2,5 °C/min até atingir a temperatura ambiente. Na Figura 2 é apresentada a ilustração do tratamento térmico e as rochas tratadas no forno aquecido.



(b)

Figura 2 – (a) Tratamento Térmico, (b) Forno Mufla.

Um lote de amostras de referência não foi submetido ao tratamento térmico para que as propriedades pudessem ser comparadas antes e após o tratamento, no entanto, para obtenção dos índices físicos, essas rochas foram expostas a temperatura de 100°C em estufa.

As análises petrográficas foram realizadas em consonância com as diretrizes expressas na norma da ABNT NBR 15845 - anexo A (ABNT, 2015a), onde foi identificada a composição mineralógica, a textura, estado de alteração dos minerais, estrutura, bem como o tipo e intensidade de microfissuramentos.

A determinação dos índices físicos deu-se de acordo com os procedimentos da norma ABNT NBR 15845 - anexo B (ABNT, 2015b). As características dos poros foram obtidas no porosímetro por injeção automática de mercúrio, modelo Autopore IV 9500, da Micromeritics Instrument Company of America, em amostras medindo aproximadamente 6 x 6 x 6 mm. A intrusão e extrusão de mercúrio foram investigadas sobre pressões entre 0 a 33.000 Psi, equivalente a 228 MPa, com leitura de diâmetros de poros entre 0,005 μm e 360 μm .

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados em uma prensa manual, com amostras cúbicas com arestas medindo 3 cm, seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 15845-5 - anexo E (ABNT, 2015c). Em cada estágio de degradação foram testadas no mínimo entre 3 e 5 amostras.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o tratamento térmico, a petrografia indica que devido ao aquecimento sofrido, ocorre a recristalização da matriz e os cristais de hornblenda e alguns minerais opacos que se desestabilizaram, alteraram e exsolveram. Observa-se somente vestígio de hornblenda, que se transformou em uma fase de alteração de cor ocre (hidróxido de Fe) e em uma fase

opaca, por vezes de tonalidade vermelha, apresentado na Figura 3(b), quando comparado com a rocha sã (Figura 3(a)). Os minerais opacos que sofreram desequilíbrio deram lugar a cristais de rutilo e também a mineral secundário de cor ocre avermelhado. Esta fase secundária ocre precipitou na superfície dos minerais félsicos (feldspatos e quartzo) da matriz e também ocupam os contatos entre esses pequenos cristais.

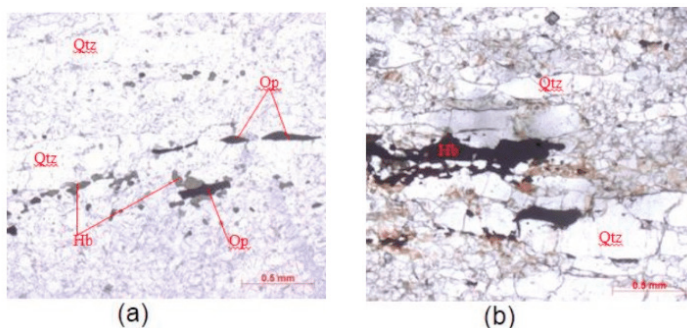


Figura 3. (a) rocha sã (b) rocha 750 °C- minerais desestabilizados (Qtz=quartzo, OP=opacos, Hb=horblenda)

Os resultados dos índices físicos (Tabela 1) fornecem indiretamente, informações sobre o estado de sanidade e a presença de micro-descontinuidades nas rochas, as quais propiciam e facilitam a percolação de fluidos.

Para a rocha sã, os valores obtidos na Densidade Aparente, Porosidade Aparente e Absorção de Água atendem aos requisitos especificados pela norma brasileira ABNT NBR 15844 (ABNT, 2015), com valores de densidade aparente superiores a 2.560 kg/m³, de porosidade aparente inferiores a 1% e de absorção de água abaixo de 0,4%.

Índice	Temperatura				
	100°C	200 °C	400 °C	750 °C	1100 °C
Absorção de Água (%)	0,38	0,40	0,71	1,26	3,56
Densidade Aparente (kg/m ³)	2587	2574	2569	2431	2374,0
Porosidade Aparente (%)	1,01	1,15	1,86	2,38	9,24

Tabela 1 – Índices físicos

A densidade aparente é relacionada com a densidade dos minerais constituintes das rochas e a porosidade aparente. Com o tratamento térmico, a medida que a temperatura aumenta, aumenta a absorção de água e a porosidade, e ocorre a redução da densidade aparente.

A absorção de água é controlada pela combinação de vários aspectos texturais e estruturais exibidos pelas rochas. A porosidade e o grau de microfissuramento são agentes facilitadores da percolação de fluidos na rocha, sendo que quanto maior a porosidade e o índice de fissuras abertas, maior será a absorção de água. Os resultados da porosimetria por intrusão de mercúrio decorrente do tratamento térmico das rochas são apresentados na Tabela 2.

Parâmetros	Temperatura				
	100°C	200 °C	400 °C	750 °C	1100 °C
Mercúrio Intrudido (ml/g)	0,0007	0,0008	0,0010	0,0111	0,0332
Diâmetro médio do poro (μm)	164,58	161,58	124,55	1,47	1,09

Tabela 2 – Porosimetria por intrusão de mercúrio

Analisando esta mesma Tabela 2, é possível observar que até a temperatura de 400°C, a rocha apresenta poros largos, com o volume máximo de intrusão de mercúrio de 0,0010 ml/g. Com o acréscimo da temperatura, surge uma faixa com novos diâmetros de grandes e médios poros, interconectados, possibilitando a intrusão máxima de 0,0332 ml/g de mercúrio para a temperatura de 1100°C.

O aumento da quantidade de poros e o aparecimento de microfissuras proporcionam um aumento da porosidade aparente de 1.01% na temperatura de 100°C para 9.24% na temperatura de 1100°C, convergindo para o aumento da intrusão de mercúrio.

A finalidade do ensaio de resistência à compressão uniaxial é avaliar a resistência da rocha, quando esta é submetida a um esforço compressivo, obtendo-se assim um parâmetro indicativo de sua integridade física.

A rocha sã apresentou resistência à compressão uniaxial (UCS) satisfatória, superior aos 100 MPa requerido pela norma ABNT NBR 15845 –anexo E (ABNT, 2015c) . Observa-se na Figura 4 que o tratamento térmico acarreta um aumento na resistência à compressão do gnaiss estudado até a temperatura de 750°C, com um posterior decréscimo.

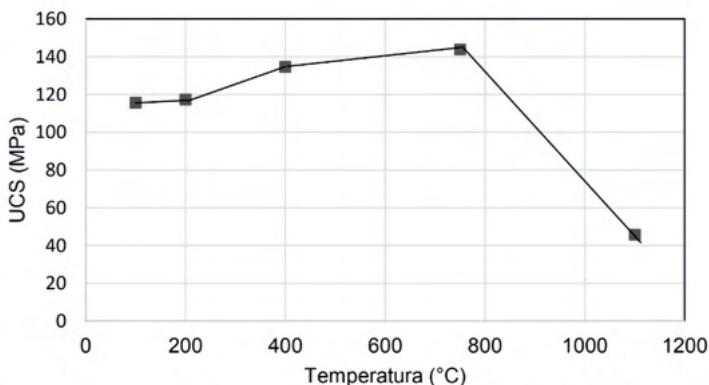


Figura 4. Resistência à compressão uniaxial

O aquecimento das peças até a temperatura de 750°C proporcionou às peças um incremento de 24,4% na resistência a compressão, posteriormente um decaimento. Este aumento na resistência mecânica com o tratamento térmico é devido ao fechamento de fissuras originais da rocha devido à expansão diferencial dos minerais e a homogeneização e densificação da matriz rochosa durante o aquecimento, que acarreta uma maior adesividade entre os grãos dos minerais componentes da rocha.

RANJITH (2012) destaca que a evaporação da umidade presente na rocha reduz o efeito lubrificante do deslizamento relativo entre grãos de rocha, também contribuindo para o aumento da resistência mecânica.

Acima de 750 °C a expansão térmica isotrópica e a lineação dos minerais geram microfissuras, paralelas às foliações e a lineação do grão, conforme mostrado na Figura 3, fazendo com que durante a compressão ocorra a propagação das fissuras. Ainda nesta faixa de temperatura é observada a redução da coesão entre os grãos minerais, e a redução da resistência mecânica.

4 | CONCLUSÃO

Este trabalho estudou o comportamento mecânico de um gnaisse milonitizado, submetido a tratamento térmico a uma taxa de aquecimento de 2°C/minuto, avaliado nas temperaturas de 100, 200, 400, 750 e 1100°C e analisou as características dos poros e microestrutura da rocha, assim como a resistência mecânica por meio do ensaio de compressão uniaxial. A seguir, são apontadas as principais conclusões:

A metodologia aplicada foi eficaz para o estudo da influência de altas temperaturas na pedra madeira. Com o aumento da temperatura, foi observada a variação da resistência à compressão das amostras estudadas, e o efeito da expansão térmica dos minerais causando microfissuras na matriz da rocha.

Verificou-se após o tratamento térmico o surgimento de poros com diâmetro menor do que o inicialmente avaliado nas amostras, porém com intrusão de mercúrio muito superior ao inicial.

Quando uma rocha é exposta a alta temperatura, expansão térmica e reações químicas ocorreram dentro dela, causando mudanças significativas na microestrutura, como por exemplo, microfissuras. Os efeitos do tratamento térmico podem ser refletidos indiretamente pela variação na porosidade e propriedades mecânicas, quando comparadas aqueles em condições normais.

Além da alteração mineral, pode ocorrer a fratura de partículas cristalinas ou fissuras transgranulares entre os grãos dos minerais, resultando na redução da resistência e durabilidade da rocha.

Os resultados deste estudo, corroboram com os estudos anteriores (QIN *et al.* 2020; SAIANG *et al.* 2012; RANJITH *et al.* 2012 e GAUTAM *et al.* 2018), e mostram que o tratamento térmico em determinadas temperaturas pode ocasionar aumento da resistência da rocha. Todos os mecanismos envolvidos ainda não foram devidamente estudados, mas sabe-se que os minerais constitutivos, a porosidade inicial e as alterações microestruturais refletem no comportamento da rocha.

Os resultados experimentais analisados demonstraram que, a temperatura tem influências na resistência da rocha, ocasionando enfraquecimento devido a fissuras, decomposição, crescimento e transições de fase dos minerais (RANJITH *et al.* 2012; WONG *et al.* 2020).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15845** - Análise petrográfica, anexo A: Rio de Janeiro, 2015a, p. 3-5.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 15845** - Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água. anexo B: Rio de Janeiro, 2015b, p. 6-8.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 15845** - Resistência à compressão uniaxial, anexo E: Rio de Janeiro, 2015c, p. 16-18.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 15844** - Rochas para revestimento: Requisitos para granitos.: Rio de Janeiro, 2015, p. 1-3.

Biró A, Hlavicöka V, Lublój É (2019) Effect of fire-related temperatures on natural stones. **Construction and Building Materials** 212: 92–101.

Freire-Lista DM, Fort R, Varas-Muriel M.J (2016) Thermal stress-induced microcracking in building granite. **Engineering Geology** 20:683–93.

Gautam PK, Verma AK, Jha MK, Sharma P, Singh TN (2018) Effect of high temperature on physical and mechanical properties of Jalore granite. **Journal of Applied Geophysics** 159:460–474.

Lima, M. A. B. (2006) **Estudo do comportamento dos gnaisses casablanca, juparaná delicato e giallo falésia (Ceará-Brasil) em atmosfera salina.** (Tese de doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas Universidade Estadual Paulista – UNESP . – Rio Claro/SP .

Hajpál M. e Török A. (2004) - Mineralogical and colour changes of quartz sandstones by heat **Environmental Geology** 46:311–322

Martinho E, Dionísio A (2020) Assessment Techniques for Studying the Effects of Fire on Stone Materials: A Literature Review. **International Journal of Architectural Heritage** 14:59-72.

Qin Y, Tian H, Xu NX, Chen Y (2020) Physical and Mechanical Properties of Granite After High Temperature Treatment. **Rock Mechanics and Rock Engineering** 53:305–322.

Ranjith PG, Viete DR, Chen BJ (2012) Transformation plasticity and the effect of temperature on the mechanical behavior of Hawkesbury sandstone at atmospheric pressure. **Engineering Geology** 151:120–127.

Saiang C, Miskovsky K (2012) Effect of heat on the mechanical properties of selected rock types – a laboratory, Harmonising **Rock Engineering and the Environment** – Qian & Zhou (eds). 34.:815–820.

Sirdesai, NN, Gupta T., Singh TN, Ranjith PG (2018) Studying the acoustic emission response of an Indian monumental sandstone under varying temperatures and strains. **Const. and Buil. Materials.** 168:346-361.

Wong LNY, Zhang Y, Wu Z (2020) Rock strengthening or weakening upon heating in the mild temperature range? **Engineering Geology** 272:105-123.

Zhu Z, Tian H, Guosheng JG, Cheng W (2018) Effects of High Temperature on the Mechanical Properties of Chinese Marble. **Rock Mechanics and Rock Engineering** 51:1937–1942.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Altas Temperaturas 78, 79, 87, 88, 90, 91, 102, 173, 174, 175, 180

Análise Estrutural 115, 119, 122, 124, 255

Argamassa 83, 92, 150, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 159, 244, 249, 295, 300

Arquitetura Hospitalar 103, 107, 112

Avaliação de Desempenho 103, 104, 106, 107, 112, 113

B

Bim 3, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205

BIM 5D 58, 59, 61, 65

C

Cimento 67, 71, 73, 79, 80, 84, 90, 91, 92, 94, 95, 125, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 150, 152, 153, 154, 156, 157, 158, 162, 163, 164, 165, 207, 245, 254, 258, 304

Concreto 1, 2, 5, 12, 46, 57, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 101, 112, 114, 152, 153, 158, 159, 175, 192, 207, 220, 245, 246, 251, 254, 259, 266, 267, 271, 272, 299, 300, 302, 303, 304, 305, 307, 308, 309, 312, 313, 314

Concreto Armado 1, 2, 5, 46, 67, 68, 69, 70, 71, 75, 76, 78, 80, 82, 83, 88, 245, 246, 254, 266, 267, 271, 272, 302, 303, 304, 307, 308, 312, 313

Contenções 160, 172, 253, 255, 265

Corrosão das armaduras 67, 68, 69, 72, 75, 80, 82

D

Decreto 58, 60, 61, 65, 66, 290, 299

Deep Beams 183, 193, 194

Degradação 48, 76, 80, 87, 90, 91, 92, 102, 105, 177, 289, 294, 295, 297, 300, 337

Disseminação 58, 60, 61, 66

Durabilidade 52, 56, 69, 75, 76, 78, 80, 88, 108, 113, 126, 173, 174, 175, 181, 207, 297, 298

E

Elementos de barra biarticulados 29, 44, 317

Ementa 58, 60, 62

Empreendimentos Rurais 46, 47, 49, 55, 56

Engenharia Civil 3, 1, 12, 28, 48, 58, 60, 62, 63, 88, 90, 113, 115, 116, 117, 125, 134, 135, 150, 172, 195, 220, 265, 266, 291, 292, 303, 304, 316, 338

Engenharia Diagnóstica 78, 80

F

Fundações Superficiais 1, 2, 3, 4, 12, 265

G

Gnaisse 173, 174, 175, 176, 179, 180

Grelhas Hiperestáticas 13, 14, 26

H

Hastes de Paredes Delgadas 14, 27

Hospital Architecture 103

I

Incêndio 51, 78, 79, 80, 83, 84, 85, 87, 90, 92, 97, 101, 108, 110, 111, 112, 175

Inspeção Predial 46, 47, 48, 49, 52, 55, 56, 57, 103, 109

Interação Solo-Estrutura 3, 1, 2, 3, 5, 11, 12, 254, 255, 265

Íons Sulfatos 67, 69, 72, 73, 75

L

Látex da seringueira 150, 151, 157

M

Máquinas de ar condicionado 195, 196, 198, 199, 201, 202, 203

Mecânica Vetorial 115, 116, 117, 118, 119

Metodologia Empírico-Mecanística 125, 134

Microzonificación, Peligro, Vulnerabilidad, Riesgo 136

Modelagem 6D 195

Módulo de Resiliência 125, 126, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135

P

Patologias 47, 48, 56, 57, 76, 115, 291, 296, 298, 300

Pavimentação 125, 129, 134, 135, 239

Performance Evaluation 103

R

Recalque 1, 3, 4, 263

S

SAP2000 1, 2, 3, 5

SFRC 183, 193

Shear Strength 183, 193

Solo-Cimento 125, 126, 128, 131, 133, 134, 135

T

Tensão de bimomento 13, 24, 26

Tensão de flexão 13, 26, 27

Tratamento Térmico 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181

Treliça 28, 29, 40, 116, 119, 120, 316, 317, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 330, 331

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL 3

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

COLEÇÃO

DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL 3

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