

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 Cremo

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

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

Data de aceite: 01/10/2021

Data de submissão: 19/08/2021

Henrique Resende dos Santos

Mestrando na Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/3913666035433488>

Adriano de Paula e Silva

Professor na Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/3873930710698633>

Eduardo Chahud

Professor na Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/7061747933713446>

Cristiane Machado Parisi Jonov

Professor na Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/4681966333993716>

RESUMO: Este trabalho apresenta um estudo bibliográfico sobre a corrosão das armaduras de estruturas de concreto armado provocada pela ação dos íons sulfatos. Foi analisado o meio em que os íons sulfatos estavam inseridos, bem como as variáveis que interferem neste processo para causar deterioração nas estruturas de concreto armado. Pode-se concluir com este trabalho que, além de provocar reações químicas expansivas no concreto, o ataque de sulfatos também pode

ocasionar corrosão nas armaduras, sendo essencial ampliar o conhecimento do mecanismo de ação para condutas preventivas e corretivas no intuito de aumentar a vida útil das estruturas de concreto armado.

PALAVRAS - CHAVE: Corrosão das armaduras. Íons Sulfatos. Concreto.

REINFORCEMENT CORROSION IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES DUE TO SULFATE ATTACK

ABSTRACT: This work presents a bibliographic study on the corrosion of reinforced concrete structures reinforcement caused by the action of sulfate ions. The medium in which the sulfate ions were inserted was analyzed, as well as the variables that interfere in this process to cause deterioration in the reinforced concrete structures. It can be concluded with this work that, in addition to causing expansive chemical reactions in the concrete, the attack of sulfates can also cause corrosion in the reinforcement, being essential to expand the knowledge of the mechanism of action for preventive and corrective conducts in order to increase the useful life of the reinforced concrete structures.

KEYWORDS: Corrosion of reinforcement. Sulfate ions. Concrete.

1 | INTRODUÇÃO

Conforme Petru (2019), as estruturas estão sempre em contato com efeitos deletérios, tais como, sobrecargas, ataques ambientais, desastres, entre outros. As estruturas de cimento

Portland devem cumprir as funções prescritas em projeto, além de resistir à ação de agentes agressivos decorrentes do ambiente no qual estão inseridas. Assim, as especificações dos materiais utilizados na execução estão intrinsecamente ligadas à agressividade do meio durante sua vida útil.

O concreto, quando corretamente executado, protege a armadura sobre dois principais aspectos: o físico e o químico. A proteção física é devida ao cobrimento do concreto, que deve ser de acordo com a NBR 6118:2014. Já a proteção química, é decorrente do meio alcalino, fazendo com que haja a formação de uma película fina, a camada passivadora (GENTIL, 1996).

Segundo Moyses (2018), a camada passivadora é fundamental para não deixar o aço entrar em processo de corrosão. Além disso, Nascimento *et al.* (2020) mencionam que nas estruturas de concreto armado a corrosão das armaduras é uma das manifestações patológicas que ocorrem com maior frequência. O resultado desse processo eletroquímico é a redução da seção de armadura e a fissuração do concreto paralelamente a esta (MOTA *et al.* 2009).

No tocante à deterioração do concreto, esta acontece por fenômenos físico-químicos que apresentam causas diversas. Na figura 1 abaixo, Silva (2017) demonstrou as diversas formas de deterioração do concreto por reações químicas.

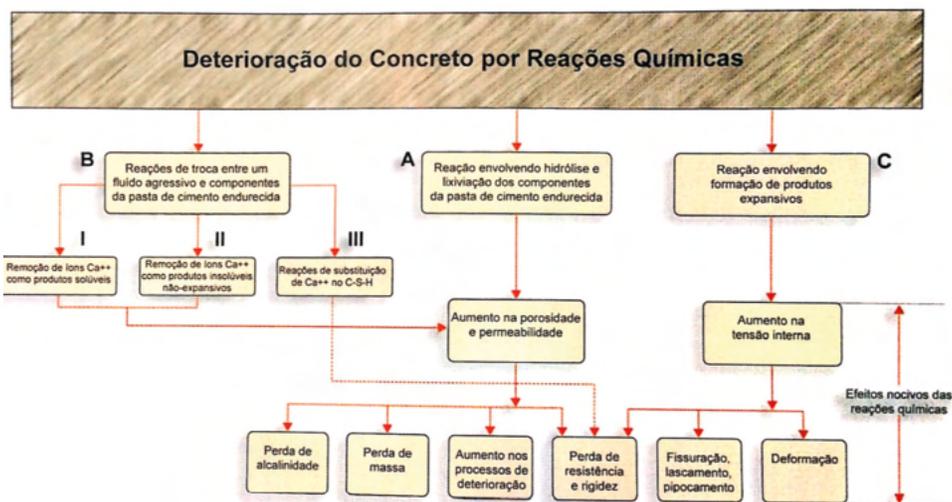


Figura 1 - Representação esquemática da deterioração do concreto por reações químicas (SILVA, 2017).

Os sulfatos estão entre os agentes químicos com maior agressividade sobre o material, podendo ser encontrados em diversas formas, como por exemplo, diluídos em água (Pereira, 2019). Deste modo, os concretos utilizados em obras subterrâneas, marítimas ou de condução de rejeitos industriais e esgotos são mais susceptíveis a esses

ataques (Pereira, 2019).

O ataque interno de sulfatos e os seus processos de formação e deterioração em compostos cimentícios são complexos, apesar de diversos estudos e discussões sobre o tema (DE LIMA e SILVA et al. 2018).

Segundo De Lima e Silva *et al.* (2018), os compostos hidratados da pasta endurecida e os íons sulfatos que estão presentes na solução dos poros da matriz, provocam várias reações químicas e físicas, resultando na formação de produtos que podem levar à expansão e à fissuração. Conforme relatam os mesmos autores, o ataque de sulfatos, notadamente o sulfato de magnésio, provoca a redução do pH no concreto, reduzindo a camada passivadora e, favorecendo o processo de corrosão.

Compreender como a durabilidade do concreto armado é afetada pelo ataque de sulfatos, demonstrando a atuação desse processo químico, é uma questão relevante para a construção civil. Neste sentido, estudos e pesquisas são constantemente desenvolvidos sobre as manifestações patológicas e a durabilidade das estruturas. Dependendo do tipo de solo, as fundações ficam em contato direto com águas ricas em sulfatos, o que pode acarretar em um impacto econômico na recuperação da edificação. Assim, a partir da ampla compreensão dos efeitos químicos gerados pelos sulfatos, pode-se evitar gastos elevados com a recuperação da estrutura.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo geral realizar uma revisão bibliográfica sobre a corrosão das armaduras em estruturas de concreto armado devido ao ataque de sulfatos. O trabalho está organizado da seguinte forma: primeiro, há esta introdução, na qual é apresentada a contextualização e o objetivo; a segunda seção traz os mecanismos gerais da corrosão do aço no concreto; a terceira, por sua vez, apresenta as condições necessárias para o processo corrosivo; a quarta, se refere às estruturas de concreto e as procedências dos sulfatos; a quinta, é sobre a corrosão provocada pelos sulfatos e; a sexta e última, elenca as principais conclusões.

2 | MECANISMOS GERAIS

Segundo Metha (2006), a corrosão do aço no concreto é um processo eletroquímico. Os potenciais eletroquímicos têm dois cominhos para formar as células de corrosão: incorporação de dois metais diferentes no concreto e, pela diferença de concentração de íons dissolvidos, tal como os álcalis.

Diante disso, forma-se no metal, uma área catódica e a outra anódica, conforme Figura 2 abaixo.

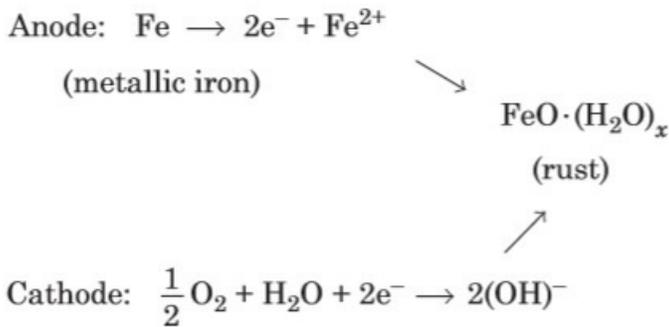


Figura 2 - Representação esquemática das alterações químicas (METHA, 2006).

A Figura 3 a seguir, demonstra que entre as áreas anódicas e catódicas haverá uma diferença de potencial (ddp), dando início ao fluxo de corrente elétrica, devido à formação do efeito pilha (FORTES; ANDRADE, 2001).

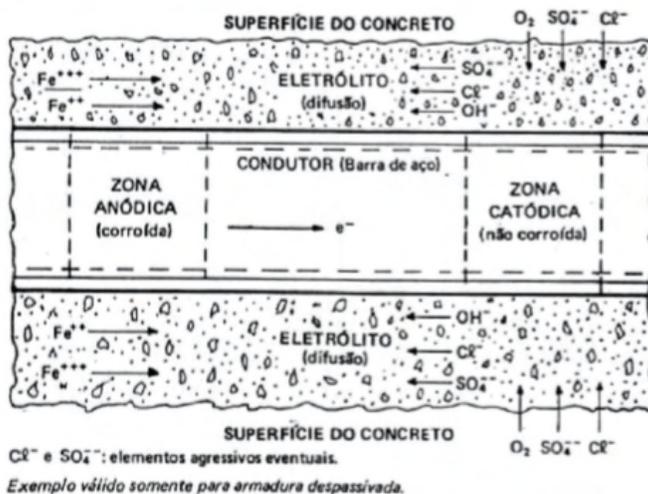


Figura 3 - Representação esquemática da corrosão eletroquímica em concreto armado (HELENE, 1986).

O fluxo de elétrons para a área catódica é mantido pelo consumo de elétrons, fazendo com que a ionização do ferro metálico aconteça na área anódica. Já em relação à área catódica, a presença do ar e da água na superfície do cátodo é extremamente necessário (METHA, 2006).

A formação da ferrugem decorrente da transformação ferro metálico, proporciona um aumento de volume, que dependendo do estado de oxidação, pode aumentar em até 600% do tamanho original, como mostra a Figura 4 a seguir (METHA, 2006).

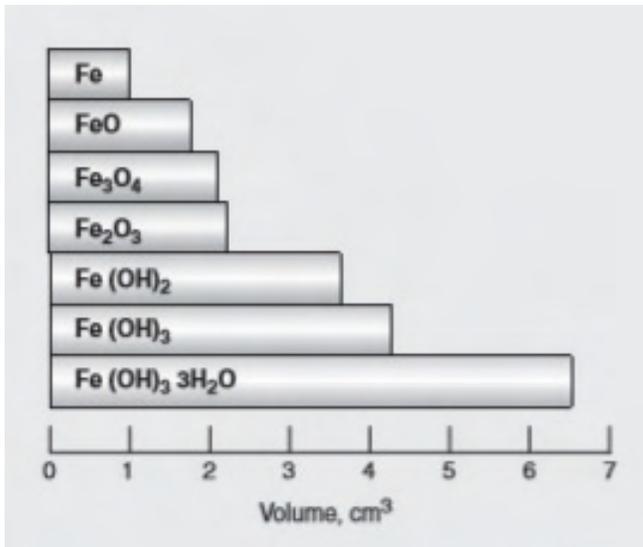


Figura 4 - Mostra que dependendo do estado de corrosão o volume sólido pode aumentar em até seis vezes (METHA, 2006).

A corrosão pode se manifestar no concreto armado na forma de manchas superficiais causadas pelos produtos de corrosão, seguidas por fissuras, destacamento do concreto de cobertura, diminuição da secção resistente das armaduras com frequente seccionamento de estribos, redução e eventual perda de aderência das armaduras principais, ou seja, deteriorações que levam a um comprometimento da segurança estrutural (RIBEIRO, 2014).

3 | CONDIÇÕES NECESSÁRIAS PARA O PROCESSO CORROSIVO

A formação de óxidos e hidróxidos de ferro é conduzida pela corrosão, produtos pulverulentos e porosos denominados ferrugem. Esses produtos só ocorrem nas seguintes condições: existência de um eletrólito; diferença de potencial; oxigênio e; agentes agressivos (HELENE, 1986).

O eletrólito tem como propósito permitir a dissipação e mobilidade dos íons, realizando a ligação entre a superfície do aço e a matriz porosa do concreto. A título de exemplo, a água existente no concreto em grande proporções funciona como um eletrólito. Além desta, a portlandita – Ca(OH)₂-, produto de hidratação do cimento, formam nos poros e capilares uma solução saturada que constitui um bom eletrólito (RIBEIRO, 2014).

A diferença de potencial entre os pontos da barra pode ter diversas origens, como por exemplo: diferença de umidade, aeração, concentração salina, tensão no concreto e no aço (RIBEIRO, 2014).

Segundo Helene (1986), o oxigênio é necessário para a formação da ferrugem – 2Fe(OH)₂. Na Figura 5, apresentada a seguir, a velocidade inicial é acelerada tendendo

a decrescer com a constituição da camada de óxido, porque esta irá operar como um impedimento da difusão do oxigênio.

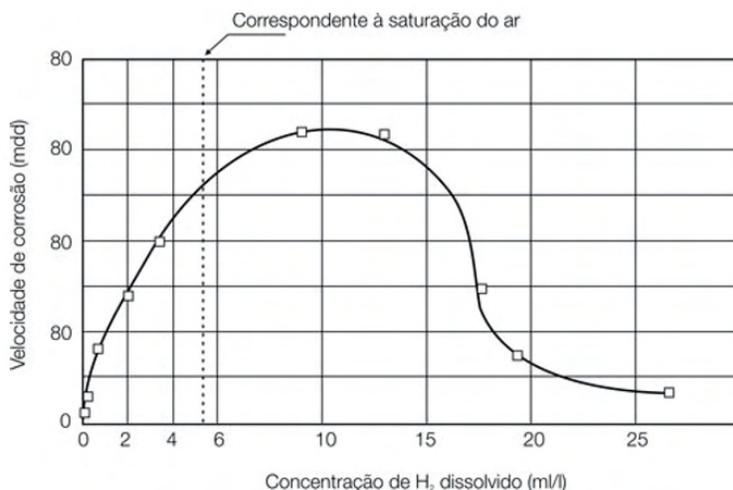


Figura 5 - Velocidade de corrosão em relação à concentração de oxigênio dissolvido (mdd = mg/dm²/dia) (RIBEIRO, 2014).

Os agentes agressivos contidos ou absorvidos no concreto podem acelerar a corrosão, já que inibem a formação ou destroem a camada passivadora do aço. Dentre eles estão: íons sulfatos, dióxido de carbono, gás sulfúrico, entre outros.

Tuutti (1982) estabeleceu através de um modelo, uma metodologia de vida útil com base na corrosão das armaduras do concreto por meio de dois subprocessos: iniciação e propagação.

O período da iniciação é determinado pelo cobrimento do concreto, no qual sofrerá alterações devido ao nível de concentração das substâncias que dão início a corrosão. O processo da corrosão começa no estágio da propagação (TUUTTI, 1982). Assim, após a despassivação da armadura, a velocidade e a intensidade da corrosão são determinadas pelas condições termodinâmicas (RIBEIRO, 2014). O teor de umidade é o principal fator de controle do processo.

A umidade no concreto é controlada pela temperatura, sendo que esta, regula a evaporação e a condensação da água no seu interior, cuja a qual, atua como eletrólito no processo de corrosão (RIBEIRO, 2014).

4 | ESTRUTURAS DE CONCRETO E PROCEDÊNCIA DOS SULFATOS

O concreto quando executado com os devidos cuidados, proporciona baixa permeabilidade, reduz a penetração de agentes agressivos, funcionando como uma

barreira para impedir que os vergalhões de aço sofram ataques de íons agressivos, como por exemplo, íons sulfatos.

O desgaste, variações químicas ou alterações na estrutura são devido às alterações sofridas pelo material que estão relacionadas com a interação físico-química entre o material e o meio.

A deterioração e a corrosão do concreto podem ser observadas pelos processos principais, sendo estes, classificados de acordo com a sua natureza, em mecânicos, físicos, químicos, biológicos.

Segundo Metha (2006), reações químicas que envolvem produtos expansivos no concreto podem gerar prejuízos. Em primeiro momento, as expansões podem não gerar danos ao concreto, porém, com o aumento crescente das tensões internas acarreta deformações, deslocamentos em diferentes partes da estrutura, rachaduras, entre outros.

Grandes teores de sulfatos podem ser encontrados nos solos e em águas industriais como naturais (RIBEIRO, 2014). As concentrações de SO_4 entre 3.000 e 6.000 mg/l são consideradas as mais severas (WHITTAKER, 2014). Na maioria dos solos, o sulfato está na forma de gipsita (ou gesso, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$), geralmente em concentrações que variam de 0,01% a 0,05% de SO_4 , sendo, portanto, quantidades inofensivas ao concreto.

Nas águas subterrâneas, os sulfatos mais presentes são: magnésio, sódio e potássio. O sulfato de amônia pode ser encontrado em águas e terras agrícolas (DE LIMA e SILVA *et al.*, 2018).

5 | CORROSÃO PELOS ÍONS SULFATOS

Geralmente, a agressividade do ataque está ligado ao teor de sulfatos no solo e na água em contato com o concreto e às características desse concreto (RIBEIRO, 2014). Aumentando o teor de sulfatos, aumenta a agressividade do meio, e quando estão dissolvidos em água, esses íons se tornam mais agressivos (RIBEIRO, 2014).

A Figura 6 abaixo, demonstra que ataque por sulfato ao concreto provoca reações entre o agente agressor e o composto do material cimentício. Segundo Ribeiro (2014), esse ataque ocorre devido à três fatores: penetração dos íons sulfato na matriz do cimento; reação dos sulfatos com o hidróxido de cálcio, formando gesso; e na reação do gesso com os aluminatos, resultando em compostos expansivos, como a etringita.

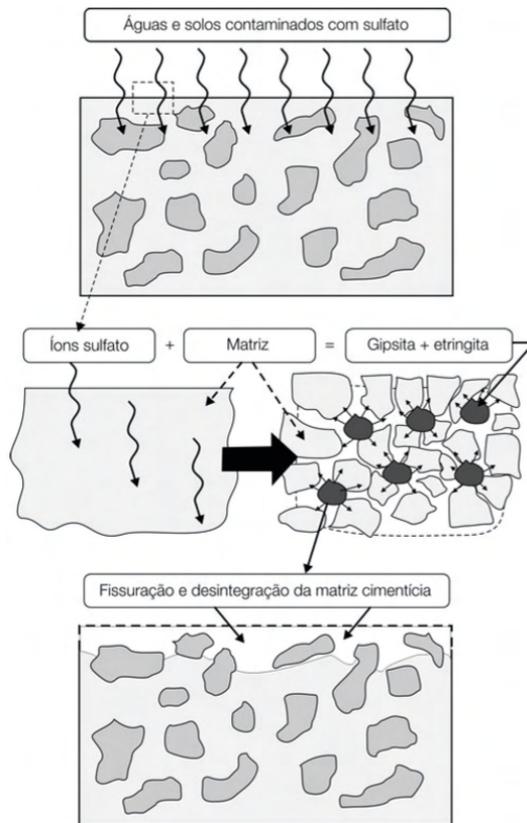


Figura 6 - Representação esquemática dos efeitos do ataque por sulfatos sobre o concreto (RIBEIRO, 2014).

Os sulfatos mais prejudiciais para o concreto são: sulfato de amônio $[(NH_4)_2SO_4]$, o sulfato de cálcio ($CaSO_4$), o sulfato de magnésio ($MgSO_4$) e o sulfato de sódio (Na_2SO_4).

Dentre eles, o sulfato de magnésio, por sua vez, é o mais prejudicial devido à formação de hidróxido de magnésio, e este reage também com o hidróxido de cálcio, reduzindo a alcalinidade do sistema e tornando instável o silicato de cálcio hidratado, que também será alvo de ataque da solução de sulfato (METHA, 2006).

Pode-se verificar a redução da alcalinidade do sistema, e, conseqüentemente, a profundidade do ataque, utilizando a fenolftaleína, que é um indicador de basicidade. A partir da Figura 7 abaixo, é possível perceber que, a região acometida pelo ataque de sulfato, apresenta aspecto incolor, enquanto a região não acometida possui aspecto rosado.



Figura 7 – Efeitos do ataque por sulfatos sobre o concreto (DE LIMA e SILVA *et al.*, 2018).

Assim, diante do projeto estrutural, tem-se o cobrimento do concreto, visualizando então, se o cobrimento já foi ultrapassado ou não pelo ataque de sulfatos, de forma a influenciar diretamente na despassivação do aço que pode acarretar na corrosão do mesmo.

6 | CONCLUSÕES

O conhecimento das manifestações patológicas presentes nas estruturas de concreto armado é de grande importância para que a vida útil de projeto de uma estrutura seja alcançada. O entendimento das origens, das formas de manifestação e os mecanismos de deterioração das estruturas auxilia nas tomadas de decisões no tocante aos procedimentos a serem realizados para garantir a durabilidade e desempenho das estruturas de concreto armado.

A corrosão das armaduras é o fenômeno mais frequente no que se refere a deterioração das estruturas de concreto armado. Uma das principais causas é o CO₂, que favorece a diminuição do pH e posteriormente a despassivação da armadura, bem como os íons sulfatos, que também contribuem para esta despassivação.

Fatores como a espessura do concreto e sua qualidade também influenciam na propagação da corrosão, além do meio em que o mesmo está inserido. Por isso, a investigação do solo é primordial para conhecer o nível de contaminação em que a estrutura estará submetida.

O ataque por sulfatos, conforme citado ao longo deste trabalho, demonstra ser bastante agressivo para as estruturas de concreto armado, alterando as suas características, além de diminuir a sua resistência. Desta forma, a execução das estruturas, por meio das boas técnicas da engenharia, bem como obedecendo as normas vigentes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), aumenta sua durabilidade.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- DE LIMA e SILVA, LD; DE SOUZA, MVT; MARQUES, NM; ALVES, ISSS; GOMES, GJC. **Análise da resistividade de estruturas de concreto submetidas ao ataque corrosivo de sulfato de magnésio**. Revista Teccen. 2018 Jul./Dez.; 11 (2): 23-31.
- FORTES, L.R.; ANDRADE, J.C. **Corrosão na armadura do concreto armado: influência dos agentes cloretos e da carbonatação**, 2001.
- GENTIL, V. **Corrosão**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.
- HELENE, P. R. L. (1986). **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**, São Paulo: Pini.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concrete: microstructure, properties and materials**. Third edition. Publishing company: McGraw-Hill, 2006.
- MOTA, J. M. F.; PONTES, R. B.; CANDEIAS NETO, J. A.; OLIVEIRA, M. F.; ALMEIDA, H. T.; CARNEIRO, A. M. P. **Análise das Patologias em Estruturas de Concreto na Zona Litorânea da Cidade do Recife – PE**. X Congresso Latino-americano de Patologia – CONPAT. Valparaíso – Chile. 2009.
- MOYSES, R. **Análise de propriedades mecânicas do concreto deteriorado pela ação de sulfatos mediante utilização do UPV**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.
- MOYSES, R. **Durabilidade, Patologia e Recuperação e Recuperação das Estruturas**. Apostila para Curso de Especialização, PUC-MG, Belo Horizonte, 2018.
- NASCIMENTO, M.L.M.; SENA, G.O.; NETO, A. C. N.; **Patologia das Construções**. 1º Edição: 2B Educação. 2020.
- PEREIRA, V. C. **Efeitos dos sulfatos na degradação do concreto**. 2019. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.
- PETRU, M; WANG, X. **Mode I fracture evaluation of CFRP-to-concrete interfaces subject to aggressive environments agents: Freeze-thaw cycles, acid and alkaline solution**. Elsevier. V. Part B 168. 581-588. 2019.
- RIBEIRO, Daniel Verás. **Corrosão em Estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- SILVA, S. S. **Diagnóstico de Estruturas de Concreto em Ambientes Marinhos: Estudo de Caso de uma Plataforma de Pesca**. 2017. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.
- TUUTTI, K. **Corrosion of Steel in Concrete**. Stokholm: Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1982.

WHITTAKER, M. **Current knowledge of external sulfate attack.** Advances in Cement Research. V. 27. Issue 9. 2014.

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