

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL



CARLOS AUGUSTO ZILLI
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

COLEÇÃO
DESAFIOS
DAS
ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL



CARLOS AUGUSTO ZILLI
(ORGANIZADOR)

Atena
Editora
Ano 2021

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

iStock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



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

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

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

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

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

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

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

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

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

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

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

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

Linguística, Letras e Artes

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

Conselho Técnico científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Profª Ma. Adriana Regina Vettorazzi Schmitt – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Profª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andrezza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Profª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Carlos Augusto Zilli – Instituto Federal de Santa Catarina
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Edson Ribeiro de Brito de Almeida Junior – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atílio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Prof. Me. Francisco Sérgio Lopes Vasconcelos Filho – Universidade Federal do Cariri
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramirez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFGA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Profª Ma. Lillian de Souza – Faculdade de Tecnologia de Itu
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Profª Drª Livia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Profª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Profª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Me. Luiz Renato da Silva Rocha – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos

Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof. Me. Marcos Roberto Gregolin – Agência de Desenvolvimento Regional do Extremo Oeste do Paraná
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Dr. Pedro Henrique Abreu Moura – Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Profª Drª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Rafael Cunha Ferro – Universidade Anhembi Morumbi
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof. Dr. Sullivan Pereira Dantas – Prefeitura Municipal de Fortaleza
Profª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Universidade Estadual do Ceará
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Coleção desafios das engenharias: engenharia civil

Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os autores
Organizador: Carlos Augusto Zilli

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C691 Coleção desafios das engenharias: engenharia civil /
Organizador Carlos Augusto Zilli. – Ponta Grossa - PR:
Atena, 2021.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5983-302-3

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.023211407>

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

CDD 624

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.arenaeditora.com.br
contato@arenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

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

DECLARAÇÃO DA EDITORA

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

APRESENTAÇÃO

Esta obra, intitulada “Coleção Desafios das Engenharias: Engenharia Civil”, em seu primeiro volume, apresenta 18 capítulos que abordam pesquisas relevantes sobre os desafios enfrentados pela engenharia civil mundo afora, tais como: Otimização e Dimensionamento de Peças Estruturais, Concreto em Situações de Incêndio, Confiabilidade Estrutural, Prevenção de Danos em Estruturas, Estudos de Materiais Alternativos para Construção Civil, Concreto Ecológico e Descarte de Resíduos.

Desta forma, esta obra se mostra potencialmente disponível para contribuir com discussões e análises aprofundadas acerca de assuntos atuais e relevantes, servindo como base referencial para futuras investigações relacionadas à estruturas de concreto armado e materiais de construção civil.

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

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

Carlos Augusto Zilli

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

DIMENSIONAMENTO OTIMIZADO DE LAJES NERVURADAS, UTILIZANDO ALGORITMO GENÉTICO

Jessyca Priscylla de Almeida Nunes

Giuliana Furtado Franca Bono

Gustavo Bono

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114071>

CAPÍTULO 2..... 16

DIMENSIONAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO CONFORME MÉTODO TABULAR E PRINCÍPIO DE CÁLCULO DAS ZONAS

Diogo Raniere Ramos e Silva

Maria de Lourdes Teixeira Moreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114072>

CAPÍTULO 3..... 28

CONSIDERAÇÕES SOBRE PUNÇÃO EM LAJES PLANAS DE CONCRETO ARMADO

Ailton Queiroz Junior

Aurélio de Almeida Abdoral Neto

Eduardo Emilio Martins Pinheiro Câmara

Elsimar Souza Santos

Felipe Vieira Ladislau

Janiele Moreira Roland

Kevin de Matos Costa

Luiz Alfredo Franco Pinheiro

Paola de Kácia de Souza Pinto Silva

Pedro Ignácio Lima Gadêlha Jardim

Raíssa Coelho Almeida

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114073>

CAPÍTULO 4..... 43

CONFIABILIDADE ESTRUTURAL DE PÓRTICOS PLANOS DE AÇO

Danilo Luiz Santana Mapa

Marcílio Sousa da Rocha Freitas

Ricardo Azoubel da Mota Silveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114074>

CAPÍTULO 5..... 64

PROJETO ÓTIMO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM SEÇÃO T UTILIZANDO OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS

Rubens Silva Correia

Giuliana Furtado Franca Bono

Gustavo Bono

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114075>

CAPÍTULO 6..... 79

A SIMULAÇÃO NUMÉRICA NA RESOLUÇÃO DE DESAFIOS DA ENGENHARIA ESTRUTURAL

Tainá Mascarenhas Borghi

Ana Lucia Homce de Cresce El Debs

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114076>

CAPÍTULO 7..... 93

EXPERIÊNCIAS PARA A PREVENÇÃO DE DANOS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO PÓS-TENSIONADO

Sergio Gavilán

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114077>

CAPÍTULO 8..... 108

EMPREGO DE ENSAIOS DE DURABILIDADE EM CONCRETOS COM SINTOMAS DE EXPANSÃO EM FUNDAÇÕES DE SUBESTAÇÕES E LINHAS DE TRANSMISSÃO EM MINAS GERAIS

Marina Munaretto Copetti

Cristiane Carine dos Santos

Ana Paula Maran

Silvane Santos da Silva

Régis Luís Wagner Mallmann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114078>

CAPÍTULO 9..... 125

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E DE DURABILIDADE DO CONCRETO POLÍMERO DESENVOLVIDO A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE RESINA POLIURETANA VEGETAL

Alexandre Rodriguez Murari

Giovanna Jacomelli

Victor José dos Santos Baldan

Eduvaldo Paulo Sichieri

Javier Mazariegos Pablos

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.0232114079>

CAPÍTULO 10..... 138

AVALIAÇÃO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO CIMENTO PORTLAND POR CINZAS DE OLARIAS NO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO ESTRUTURAL

Larissa Barbosa de Lima

Jozilene de Souza

Júlio César Damasceno

José Edivandro de Sousa Júnior

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140710>

CAPÍTULO 11..... 151

ESTUDO DO USO DE MATERIAIS ALTERNATIVOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO

CIVIL BRASILEIRA

Marcos David dos Santos
Marco Antônio Assis de Oliveira
Danylo de Andrade Lima
Marcelo Laédson Morato Ferreira
Hosana dos Santos Lima
Jaciera Isabelle Medeiros de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140711>

CAPÍTULO 12..... 162

ARTEFATOS DE CONCRETO LEVE E PERMEÁVEL COM A UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E POLIESTIRENO EXPANSÍVEL

Mariana Venturini
Gabriel Salvador
Carlos Henrique Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140712>

CAPÍTULO 13..... 169

ANÁLISE COMPARATIVA DE MITIGAÇÃO UTILIZANDO OS CIMENTOS CPII – F 32, CPII E-40, CPIV E CPV COM METACAULIM EM AGREGADOS POTENCIALMENTE REATIVOS

Marina Munaretto Copetti
Cristiane Carine dos Santos
Ana Paula Maran
Silvane Santos da Silva
Régis Luís Wagner Mallmann

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140713>

CAPÍTULO 14..... 189

ANÁLISE PRELIMINAR DO COMPORTAMENTO DE PASTAS E ARGAMASSAS DE CIMENTO PORTLAND INCORPORADAS COM PÓ À BASE DE CACTO

Gabriella Cavalcante Souza
João Victor de Paiva Rodrigues
Yasmim Medeiros Rocha
Heber Sivini Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140714>

CAPÍTULO 15..... 201

UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS (POLÍMEROS REFORÇADOS POR FIBRAS) NAS PESQUISAS EXPERIMENTAIS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISALHAMENTO

Maicon de Freitas Arcine
Nara Villanova Menon

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140715>

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 16 | 223 |
| CONCRETO ECOLÓGICO: SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DA AREIA PELO PÓ DE VIDRO | |
| Rafael Dantas Ribeiro | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140716 | |
| CAPÍTULO 17 | 237 |
| RESÍDUO DESCARTADO PELA SIDERÚRGICA DE CORUMBÁ-MS COMO POTENCIAL PARA REAPROVEITAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL | |
| Manoela da Silva Carvalho | |
| Fábio Kroll de Lima | |
| Felipe Fernandes de Oliveira | |
| Robson Fleming Ribeiro | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140717 | |
| CAPÍTULO 18 | 253 |
| REDES NEURAIS ARTIFICIAIS APLICADAS NA MODELAGEM DA DIFUSÃO DE CO ₂ NO CONCRETO | |
| Emerson Felipe Felix | |
| Renan do Vale Leonel de Assis | |
|  https://doi.org/10.22533/at.ed.02321140718 | |
| SOBRE O ORGANIZADOR | 272 |
| ÍNDICE REMISSIVO | 273 |

EMPREGO DE ENSAIOS DE DURABILIDADE EM CONCRETOS COM SINTOMAS DE EXPANSÃO EM FUNDAÇÕES DE SUBESTAÇÕES E LINHAS DE TRANSMISSÃO EM MINAS GERAIS

Data de aceite: 01/07/2021

Marina Munaretto Copetti

<http://lattes.cnpq.br/9838212000232840>

Cristiane Carine dos Santos

<http://lattes.cnpq.br/4101897913771990>

<https://orcid.org/0000-0002-0988-2682>

Ana Paula Maran

<http://lattes.cnpq.br/7847252334434156>

Silvane Santos da Silva

<http://lattes.cnpq.br/1015995413129280>

Régis Luís Wagner Mallmann

<http://lattes.cnpq.br/2231561351302325>

RESUMO: As interações químicas entre a sílica constituinte dos agregados e o álcali presente no concreto, em presença de umidade, podem desencadear a reação álcali-agregado (RAA). Um fenômeno expansivo que ocorre em estruturas de concreto que provoca danos e, muitas vezes, inutilização das peças. Em uma obra de Minas Gerais, as fundações de subestações e linhas de transmissão apresentaram sinais de expansão. A partir da constatação, foi realizada uma ampla campanha de ensaios para avaliar a manifestação patológica. Realizaram-se ensaios de microscopia estereoscópica e óptica e análise petrográfica dos agregados, avaliação microestrutural e textural do concreto por microscopia eletrônica por varredura (MEV), além de ensaios suplementares como determinação de teor de SO_2 . Os ensaios realizados

demonstraram que apesar dos agregados serem classificados como potencialmente reativos, não foram encontradas feições típicas de ocorrência da RAA. Apenas uma das amostras foi observada a ocorrência pontual de etringita compactada na argamassa. Foi identificada pela MEV e confirmada pela observação do espectro, com composição de sílico-sulfato de cálcio e alumínio. Os concretos apresentaram-se íntegros, mas em virtude de possuírem agregados potencialmente reativos, o monitoramento contínuo tem sido realizado.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaios de durabilidade, RAA, concreto, linhas de transmissão.

USE OF DURABILITY TESTS IN CONCRETES WITH SYMPTOMS OF EXPANSION IN FUNDS OF SUBSTATIONS AND TRANSMISSION LINES IN MINAS GERAIS

ABSTRACT: The chemical interactions between the silica constituent of the aggregates and the alkali present in the concrete, in the presence of moisture, can trigger the alkali-aggregate reaction (RAA). An expansive phenomenon that occurs in concrete structures that causes damage and, often, the parts are rendered useless. In a work in Minas Gerais, the foundations of substations and transmission lines showed signs of expansion. From the observation, a wide campaign of trials was carried out to evaluate the pathological manifestation. Stereoscopic and optical microscopy tests and petrographic analysis of the aggregates, microstructural and textural evaluation of the concrete by scanning electron microscopy (SEM) were carried out, in addition

to additional tests such as determination of SO₂ content. The tests carried out showed that although the aggregates are classified as potentially reactive, no typical features of RAA were found. Only one of the samples was observed the occasional occurrence of compacted ettringite in the mortar. It was identified by MEV and confirmed by observation of the spectrum, with a composition of calcium silicate and aluminum sulphate. The concretes were intact, but due to their potentially reactive aggregates, continuous monitoring has been carried out.

KEYWORDS: Durability tests, AAR, concrete, transmission lines.

1 | INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais antigos e que tem o uso mais disseminado na construção civil. Fazem parte da sua composição aglomerante hidráulico - cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo, água, podendo ainda conter aditivos químicos e adições. Algumas propriedades fazem com que esse material seja o mais aplicado na engenharia, desde a facilidade de executar elementos diversos, em variedade de dimensões e geometria, ao baixo custo e maior disponibilidade.

As primeiras publicações sobre reação álcali-agregado, reação esta que ocorre entre os álcalis do concreto em estado endurecido, datam o ano de 1916 no Brasil, mas houve estudos maiores no ano 1963. A preocupação maior sempre foi com obras de grande porte como barragens, e parte de usinas hidrelétricas. Mas por volta de 2004, na cidade de Recife foram identificados casos dessa patologia em edifícios acometendo blocos e sapatas de fundações com idades entre 3 a 20 anos. Com o aumento de conhecimento na área, percebeu-se uma incidência na maioria dos estados brasileiros com maior volume no Nordeste.

1.1 Problema Analisado

Em virtude que o ensaio da norma brasileira destina-se a averiguar a potencialidade reativa de um agregado e não da combinação de dois ou mais, ainda mais em se tratando de litologias distintas; isto porque ao final não é possível saber qual das litologias presentes foi a responsável pelas expansões que superaram o valor limite.

Foram testados conjuntamente um agregado miúdo de origem quartzosa (areia fina de Grão Mogol) e dois agregados graúdos de origem calcária (B0 e B1, da Pedreira Salinas). Também foram testados agregados miúdos agora classificados como de litologia quartzosa (areias de Grão Mogol) e agregados graúdos de litologia biotita quartzo (B0 e B1 da pedreira Salinas), com metacaulim marca HP Ultra, haveria mitigação da potencial reatividade. O resultado deste ensaio indicou agregado potencialmente inócuo, no caso a brita de litologia biotita quartzo da pedreira Salinas.

Convém ressaltar que o gráfico resultante não foi adicionado a este relatório, pois este método de ensaio foi removido da lista de ensaios ativos da ASTM desde janeiro/2016, pois os valores obtidos indicavam muitos casos de falso-negativos bem como de falso-

positivos.

Depois disso esse mesmo material foi encaminhado para outro órgão que realiza os mesmos ensaios que chegou a conclusão de “que a substituição de 8% de metacaulim ao cimento CP V ARI - RS, não mitigou satisfatoriamente a expansão devido à reação álcali-agregado especificamente do agregado Brita (Salinas)”.

Devido aos resultados conflitantes entre os ensaios realizados realizou-se inspeção visual em concretos de algumas bases da fundação de torres da linha de transmissão de 230kV, na região do Vale das Cancelas.

Em virtude desses falso-negativo decidiu-se realizar outros ensaios mais conclusivos para poder fazer um diagnóstico mais preciso.

1.2 Visita Técnica

Foi realizado uma visita in loco afim de encontrar quais seria a situação das bases das fundações das torres. Tais bases tem forma cilíndrica com cerca de 0,80m de diâmetro e altura variável entre, aproximadamente, 3m e 5m. O cimento empregado segundo empresa na confecção dos concretos em questão foi o CP V-ARI-RS da Lafarge e a resistência característica do concreto (fck) de 25 MPa. Mas também foi utilizado o cimento CP IV-32 RS.

Apenas uma das bases concretada com o cimento CP V e metacaulim possui cerca de 1,20m de diâmetro. Há uma possibilidade de que o concreto desta base tenha atingido temperaturas elevadas que, se ultrapassaram os 65°C, podem ter deflagrado um processo de formação de etringita tardia (DEF – Delayed Ettringite Formation). Este processo, caso existente nesta estrutura, poderia vir a causar fissurações e degradações do concreto ao longo do tempo.

Foram inspecionadas três bases próximas ao canteiro de obras, três distantes do canteiro, bem como a base que possui diâmetro de 1,20m.

Durante a visita não foi notada nenhuma anomalia que indicasse haver algum problema grave de fissuração. As únicas fissuras existentes, provavelmente, eram devidas à retração por secagem ocorrida no graute aplicado nos 4 cm superiores das peças, nada tendo a ver com processos expansivos no concreto.

Convém salientar que o aparecimento de fissuras devido a processos expansivos, tais como RAA, DEF e sulfetos pode demorar de alguns meses a mais de uma década.

A Figura 1 demonstra o aspecto de base de torre, apresentando algumas fissuras superficiais, possivelmente causadas pela retração por secagem do graute.



Figura 1 - Base de concreto onde fica nítida a fissuração superficial, provavelmente devida à retração por secagem do graute colocado na parte superior.

Fonte: autores(2020).

2 | METODOLOGIA

Em virtude situação exposta foi realizado os seguintes ensaios:

- a. Extração de 3 corpos de prova de 10 cm de diâmetro e comprimento de, no mínimo, 20 cm, sendo um de cada um dos tubulões de 80 cm de diâmetro (11/1 A, 24/1 A, 51/2 A). Nestes testemunhos realizou-se a apreciação da durabilidade de concreto, com ênfase na determinação da reação álcali-agregado, por microscopia estereoscópica, microscopia eletrônica de varredura/EDS e análise petrográfica de lâminas delgadas, bem como análises químicas para obtenção dos teores de enxofre total, na forma de sulfatos e de sulfetos presentes, quantitativamente em %;
- b. Extração de 1 corpo de prova de 10 cm de diâmetro e comprimento de, no mínimo, 20 cm, do tubulão de 120 cm de diâmetro (49/2 A). Neste testemunho realizar apreciação da durabilidade de concreto, com ênfase na determinação da reação álcali-agregado, por microscopia estereoscópica, microscopia eletrônica de varredura/EDS e análise petrográfica de lâminas delgadas, determinação de eventual existência de etringita tardia, bem como análises químicas para obtenção dos teores de enxofre total, na forma de sulfatos e de sulfetos presentes, quantitativamente em %;
- c. Ensaio de reatividade álcali-agregado (ABNT NBR 15577-Parte 7): determinação de expansão de prismas de concreto pelo método acelerado. Neste ensaio deve ser empregado o cimento CP V ARI RS da obra e adicionado 8% do metacaulim de modo que a dosagem a ser ensaiada fique próxima daquela empregada nos tubulões;
- d. Ensaio de reatividade álcali-agregado (ABNT NBR 15577-Parte 7): determinação de expansão de prismas de concreto pelo método acelerado. Este ensaio

deve ser realizado exatamente como está na norma e visa reavaliar a reatividade potencial do agregado graúdo, para comparar o resultado com os ensaios prévios em barras de argamassa.

3 I ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os ensaios avaliaram os concretos em relação a sua qualidade e durabilidade, com ênfase na ocorrência de eventuais reações expansivas.

A Tabela 1 demonstra a nomenclatura dos testemunhos extraídos nas bases das torres.

| Nomenclatura | |
|--------------|--------------------------------|
| 222.792 | Testemunho de concreto - CP 22 |
| 222.793 | Testemunho de concreto - CP 18 |
| 222.794 | Testemunho de concreto - CP 06 |
| 222.955 | Testemunho de concreto - CP 09 |

Tabela 1 – Nomenclatura testemunhos extraídos.

3.1 Microscopia estereoscópica e óptica

As análises petrográficas foram feitas primeiramente a olho nu e ao microscópio estereoscópico, sendo complementadas por observação de lâminas delgadas ao microscópio óptico de luz transmitida.

3.1.1 Aspectos Estruturais e Texturais do Concreto a Olho Nu

As principais características do concreto, identificadas macroscopicamente, encontram-se sintetizadas no Quadro 1. Como os concretos são semelhantes foram agrupados em um mesmo quadro.

| Amostra | | |
|-----------------|--------------------------------------|---|
| Aspectos gerais | Cor da argamassa | Cinza |
| | Distribuição dos constituintes | Homogênea |
| | Proporção dos constituintes | Pouco argamassado |
| | Aderência argamassa/ agregado graúdo | Boa |
| | Porosidade Macroscópica | Medianamente poroso a poroso, com poros milimétricos e submilimétricos. |
| | Compacidade | Compacto |
| | Adensamento | Medianamente adensado |
| | Fraturamento | Ausente |

| | | |
|--|-------------------|--|
| Aspectos relativos a manifestação patológica | Bordas de reação | Raras |
| | Poros preenchidos | Presente (poros preenchidos por material branco) |
| | Microfissuras | Presente |

Quadro 1 – Análise macroscópico do Concreto.

A caracterização macroscópica dos concretos mostrou que todos os corpos de prova (CP) continham microfissuras mas que o adensamento do concreto não foi perfeito, apresentando o material alta porosidade.

As amostras apresentam argamassa de coloração cinza. O agregado utilizado na amostra é do tipo xistosos, constituído predominantemente por fragmentos angulosos a lamelar com dimensões variadas (2,5 cm a 0,5 cm), como pode ser verificado na Figura 2. Os concretos possuem porosidade alta e os poros predominantemente milimétricos e centimétricos. A distribuição normal dos agregados em meio a argamassa evidencia uma boa homogeneização da mistura como pode ser observado nas Figuras 3. Exceção é feita ao testemunho de concreto CP 222795 como pode ser evidenciado na Figura 2.

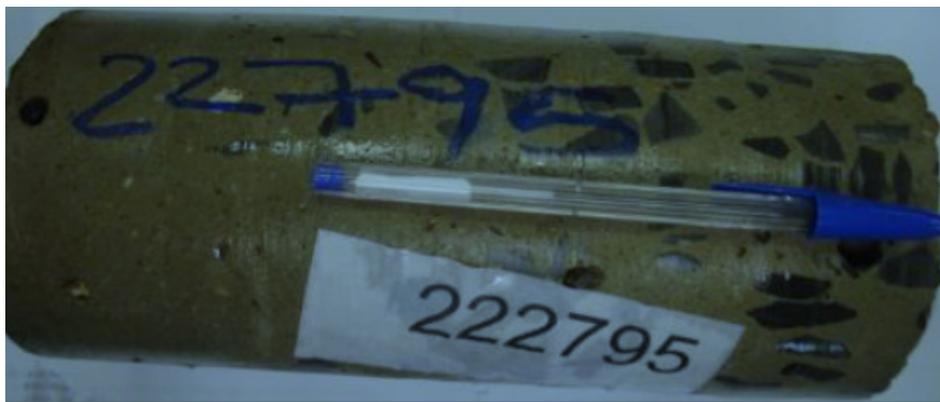


Figura 2 – Falta de homogeneidade na distribuição de agregados.

Fonte: autores(2020).



Figura 3 - Distribuição normal dos agregados em meio a argamassa evidencia uma boa homogeneização da mistura. Nas amostras 222792 e 22793.

Fonte: autores(2020).



Figura 3 - Distribuição normal dos agregados em meio a argamassa evidencia uma boa homogeneização da mistura.

Fonte: autores(2020).

3.1.2 Aspectos estruturais e texturais dos concretos por Microscopia Estereoscópica

A observação a olho nu mostrou evidências de reações deletérias sendo observadas raras feições de bordas de reação ao redor dos agregados graúdos e deposição de material esbranquiçado no contato agregado/argamassa, sobre o agregado graúdo. Os concretos apresentaram, raros depósitos de produtos esbranquiçados, preenchendo poros. As Figuras 4 – a e b ilustram essas feições.

Essas são evidências de provável ataque por sulfatos e reação álcali-agregado em âmbito de microscopia estereoscópica, mas que devem ser comprovadas por análise por microscopia eletrônica de varredura(MEV), técnica com maior resolução e diagnóstico desses casos.

Os concretos quando submetidos a tensão do martelo(no momento da amostragem para petrografia e microscopia eletrônica de varredura) apresentou alta resistência ao impacto, portando rompendo com dificuldade.

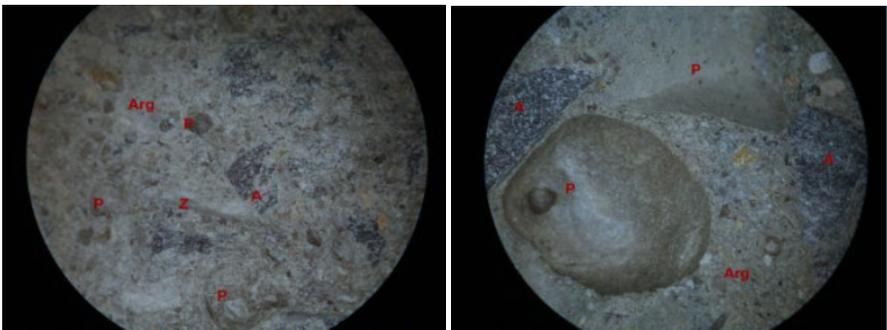


Figura 4 -a) Aspecto geral do concreto CP 22. Observa-se material branco neoformado sobre o agregado (A), na argamassa(Arg) e na zona de descolamento do agregado(Z). Observar os poros vazios. Aumento de 12x. Fonte: autores(2020).b) Aspecto geral do concreto CP 18. Observa-se poros vazios, agregados(a) e argamassa(arg) sem produtos. Aumento 16x.

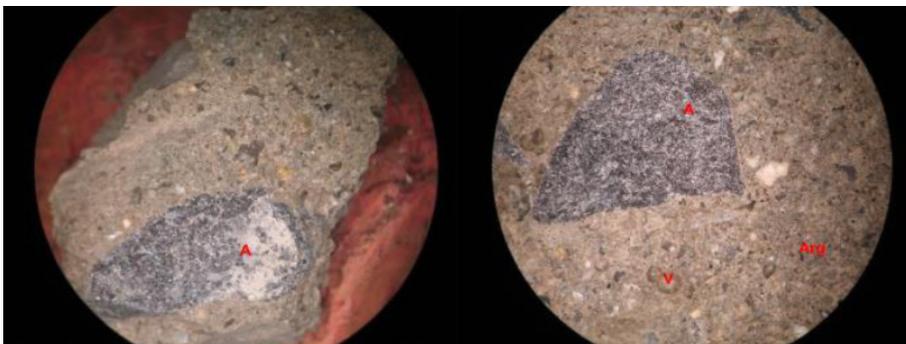


Figura 5 -a)Aspecto geral do concreto 18. Observa-se material branco neoformado. Aumento 12x.
b)Aspecto geral do concreto CP 6. Observa-se ausência de material branco neoformado preenchendo os vazios. Aumento 12x.

3.1.3 Aspectos estruturais e texturais do concreto por microscopia óptica

O microscópio óptico observou-se a presença de microfissuras na argamassa e no contato agregado/argamassa. Essas fissuras podem ter sido geradas no momento da preparação da amostra, uma vez que é necessário romper com o martelo o concreto para a separação da amostra. Entretanto, nenhuma fissura estava preenchida com material neoformado, como por exemplo, a etringita.

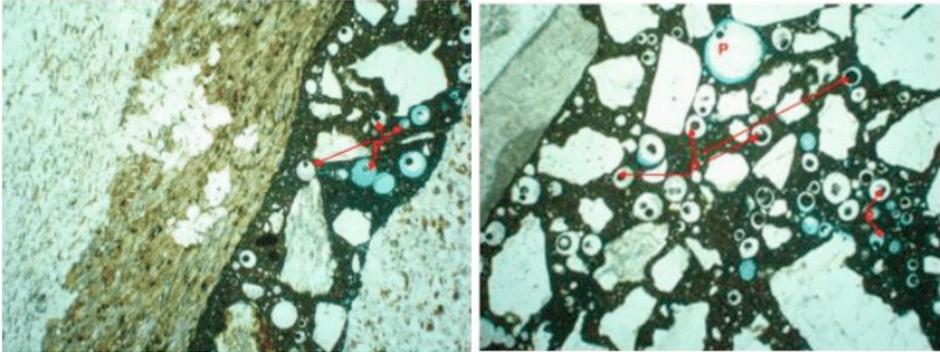


Figura 6 -a)Aspecto geral do concreto CP22. Poros vazios(P). Aumento 10x. b) Aspecto concreto CP 18. Poros vazios. Ampliação 40x.

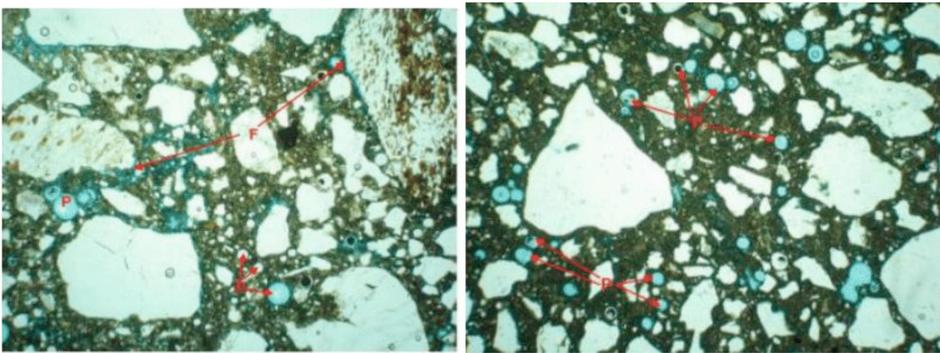


Figura 6 -a)Aspecto geral do concreto CP 6. Poros vazios(P). Aumento 10x. b) Aspecto concreto CP 9. Poros vazios. Ampliação 10x.

3.1.4 Análise Petrográfica dos Agregados

Os agregados estudados são compostos por agregado dpo tipo pedra britada e areia proveniente de britagem de rocha. O Quadro 2 demonstra as características gerais macroscópicas do agregado graúdo.

| | | |
|--------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Características | Tipo | Pedra Britada |
| | Cor | Cinza esbranquiçada |
| | Forma | Equidimensional e anguloso |
| | Grau de arredondamento | Angulosos |
| | Intervalo de variação | 0,5cm a 2,5cm |
| | Dimensão média | 1,5cm |
| Caracterização Físico mecânica | Friabilidade | Não friável |
| | Compacidade | Compacto |
| | Tenacidade | Elevada |

Quadro 2 – Características gerais do Agregado Gráudo.

O Quadro 3 demonstra a descrição petrográfica, feita no microscópio óptico de luz transmitida, do agregado gráudo predominante nos concretos.

| | | |
|-----------------------------------|---|--|
| Mineralogia | Principal | Quartzo, feldspato e biotita |
| | Subordinada | Sericita-muscovita, titanita, clorita e opacos |
| | Reativa/deletéria | Quartzo com extinção ondulante(Não foi possível medir ângulo de extinção):5%; e quartzo microcristalino: >5% |
| Textura | Bandada | |
| Granulação | Inequigranular – Média fina | |
| Feldspato(mirmequitas e pertitas) | | - |
| Alteração | Pouco alterada | |
| Deformação do agregado | Quartzo deformado; minerais estirados segundo a orientação preferencial da rocha e bandas de minerais; micáceos alternados com bandas de minerais quartzo-feldspáticos. | |
| Tipo de rocha | Metamórfica | |
| Classificação petrográfica | Biotita Xisto | |
| Reatividade potencial | Agregado potenciamente reativo | |

Quadro 3 – Síntese das características petrográficas do Agregado Gráudo.

| | | |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|
| Características microscópicas | Grau de arredondamento | Anguloso e subanguloso |
| | Impregnações | - |
| Mineralogia | Principal | Quartzo |
| | Subordinada | Feldspato e mica |
| Tipo/origem | | |
| Alteração | Pouco nas micas | |

Quadro 4 – Síntese das características petrográficas do Agregado Miúdo.

Do ponto de vista físico mecânico, a alta tenacidade e alteração incipiente de sus constituintes, permitem considerar os agregados utilizados nos concretos como de boa qualidade. Entretanto, o agregado graúdo, classificado como biotita xisto, foi considerado potencialmente reativo.

A reatividade da amostra (Biotita xisto) está relacionada a presença significativa de quartzo microcristalino, numa frequência maior que 5%. Além do ponto de vista mineralógico, a deformação observada no agregado graúdo pode favorecer o desencadeamento de reações expansivas do tipo álcali-sílica (RAS).

Essas concentrações de fases minerais deletérias ultrapassam os limites máximos estabelecidos pela NBR 15577-3/18, o que classifica esta amostra como potencialmente reativa.

As Figuras 7 e 8 ilustram as principais feições dos agregados graúdos e a disposição dos agregados graúdos e a disposição dos agregados miúdos.

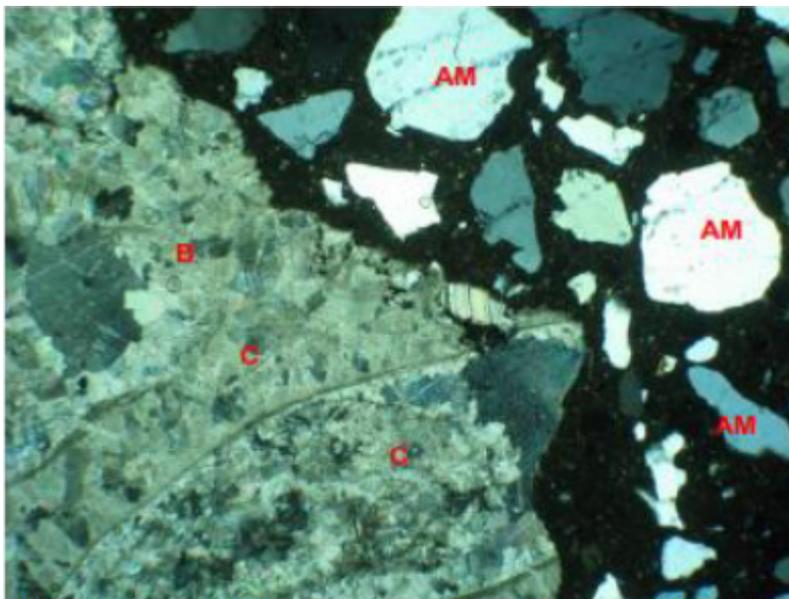


Figura 7 – Fragmentos de concreto CP 22 -Fotomicrografia do agregado graúdo no qual se observa biotitas e moscovitas estiradas segundo a foliação da rocha(B), faixa quartzo/feldspáticas(Q), feldspato(F) e agregado miúdo(M).Microscópio de luz transmitida. Nicóis cruzados. Ampliação 40x.

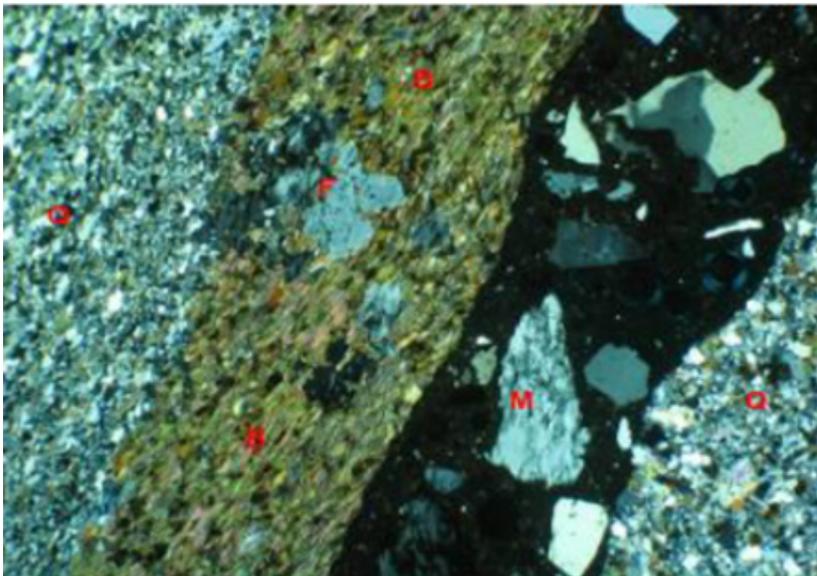


Figura 8 – Fragmentos de concreto CP 18 -Fotomicrografia do agregado graúdo no qual se observa metalcalcário, no qual se observa carbonatos(C), quartzo(pontos cinza), opacos(pontos escuros) e agregado miúdo(AM). Nicóis cruzados. Ampliação 40x.

3.1.5 Aspectos estruturais e texturais do concreto por microscopia eletrônica de varredura(MEV)

Com o objetivo de melhor detalhar a microtextura e a microestrutura dos concretos e, em especial, caracterizar a ocorrência de reação álcali-agregado(RAA) ou ataque por sulfatos, através de seus produtos, foram realizadas análises ao microscópio eletrônico de varredura(MEV).

De um modo geral, as observações ao microscópio demonstraram que os concretos apresentaram características microestruturais e texturais compatíveis com concretos de boa qualidade. Entretanto, deve contrapor que essas amostras encontram-se muito porosas, como pode ser verificado nas Figura 9 – a – b.

Mesmo o agregado ter sido classificado como potencialmente reativo pelo exame petrográfico, as análises locais preferenciais de disposição dos géis e cristais resultantes da reação álcali-agregado, isto é, as zonas de interface agregado-argamassa, superfície de deslocamento do agregado graúdo, entre outros, revelou a ausência de minerais característicos da reação álcali-agregado, como demonstra as figura 10 – a -b.

Cumprir salientar que apenas na amostra CP 22, foi observada a ocorrência, em um único ponto, de etringita, na argamassa, como ilustra a Figura 11.

A etringita ocorre de forma compactada, o que sugere a ocorrência de ataque interno por sulfatos. Observa-se no Gráfico da Figura 12 a presença de enxofre(S), indicativo da sua ocorrência.

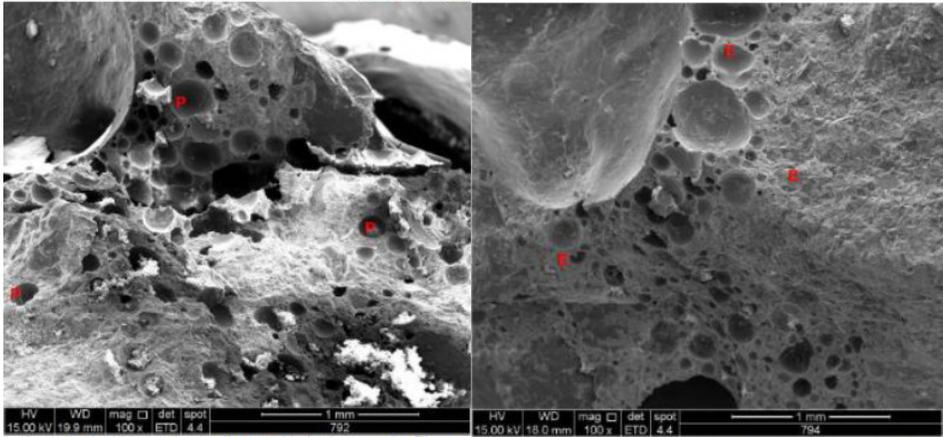


Figura 9 – a) Aspecto ao microscópio eletrônico de alta porosidade do concreto. Observar que os poros(P) encontram-se vazios. – Aumento de 100x – MEV. Concreto CP 22. b) Aspecto ao microscópio eletrônico de alta porosidade do concreto. Observar que os poros(P) encontram-se vazios. – Aumento de 100x – MEV. Concreto CP 6.

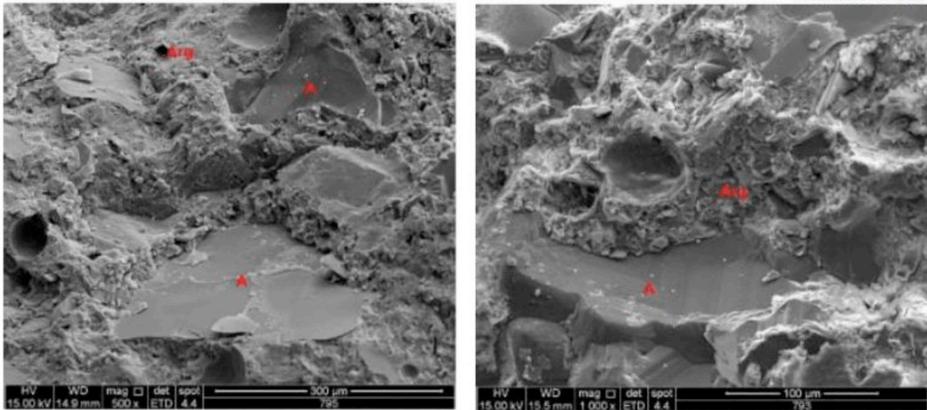


Figura 10 – a) Aspecto ao microscópio eletrônico, do qual se observa contato agregado A/argamassa Arg sem evidência de manifestação patológica – aumento de 1000x – MEV – Concreto CP 18. b) Aspecto ao microscópio eletrônico, do qual se observa contato agregado A/argamassa Arg sem evidência de manifestação patológica – aumento de 500x – MEV – Concreto CP 9.

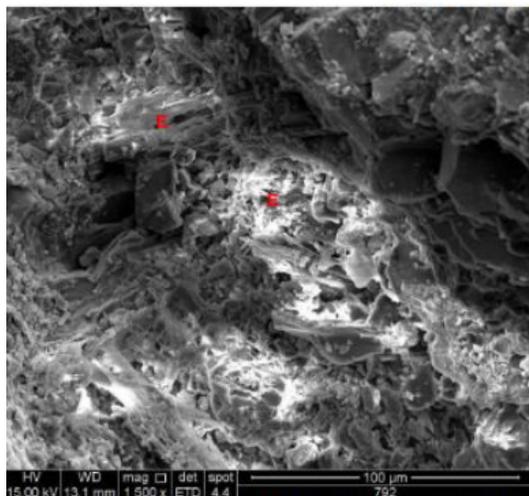


Figura 11 – a) Aspecto ao microscópio eletrônico da etringita(E) compactada na argamassa– aumento de 1500x – MEV – Concreto CP 22.

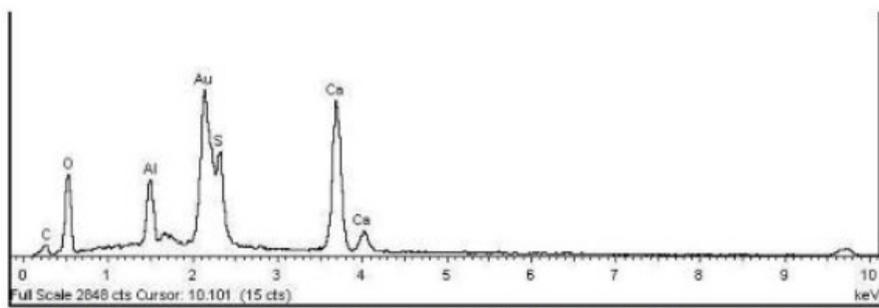


Figura 12 – a) Gráfico de EDS, no qual se observa a composição aproximada de etringita. Notar o conteúdo de enxofre(S) – Microscópio eletrônico de varredura/EDS. Realizado no produto da Figura 11.

4 | CONCLUSÕES

De um modo geral, os concretos apresentaram características e aspectos estruturais e texturais próprios de concretos submetidos a processos inadequados de adensamento, devido a alta macroporosidade. Entretanto, a distribuição regular dos agregados graúdos em meio a argamassa evidencia uma boa homogeneização da mistura, exceção feita a amostra de concreto CP 9, que apresentou uma falta de homogeneização da mistura.

Embora o agregado tenha sido classificado como potencialmente reativo, não foram identificadas feições típicas da ocorrência da reação álcali-agregado, em todas as técnicas empregadas.

Vale a pena comentar que apenas a amostra CP22 foi observada a ocorrência pontual de etringita compactada, na argamassa. Ela foi identificada pelo MEV e confirmada pela observação do espectro, com composição de silico-sulfato de cálcio e alumínio.

A observação de etringita com morfologia compactada reveste-se de importância por

ser associada a etringita tardia, uma das características sugestivas de ataque interno por sulfato na amostra. Entretanto, no caso em estudo, sua rara ocorrência, aliada aos baixos valores de SO₃ e de enxofre na forma de sulfeto indicam não haver sulfatos suficientes no sistema, para o desenvolvimento dessa reação.

Em suma, a ocorrência dos produtos referentes ao ataque por sulfatos encontram-se de forma muito pontual e os concretos encontram-se íntegros, sem nenhuma evidência de manifestação patológica importantes. Entretanto dado o caráter reativo dos agregados. Sugere-se o monitoramento periódico desses concretos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-1, agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto, 2008.

ABNT NBR 15577-1/18 Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto

ABNT NBR 15577-4/18 Agregados - Reatividade álcali-agregado - Parte 4: Determinação da expansão em barras de argamassa pelo método acelerado

ABNT NBR 16372/15 Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)

ABNT NBR 16697/18 Cimento Portland – Requisitos

ABNT NBR NM 17/12 Cimento Portland - Análise química - Método de arbitragem para a determinação de óxido de sódio e óxido de potássio por fotometria de chama.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15577-1, agregados – Reatividade álcali-agregado – Parte 1: Guia para avaliação da reatividade potencial e medidas preventivas para uso de agregados em concreto, 2008.

BATTAGIN, A.; SILVEIRA, A.L.; MUNHOZ, F.; BATTAGIN, I. Associação Brasileira de Cimento Portland. A evolução da cultura da prevenção da reação álcali-agregado no mercado nacional. In: Concreto e construções. Ano 44. Ed. Ibracon, Jul-Set 2016.

BHATTY, M. S. Y.. Mechanism of pozzolanic reactions and control of alkali-aggregate expansion. Cement, Concrete and Aggregates, West Conshohocken, v.7, n.2, 1985.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; CAETANO, G. Contribuição à previsão de danos para estruturas de concreto atacadas pela reação álcali-silica. In: Concreto e construções. Ano 44. Ed. Ibracon, Jul-Set 2016.

CHATTERJI, S.; THAULOW, N.. Studies on alkali-silica reaction. Cement and Concrete Research, West Conshohocken, 1989.

DAHER, C. H. S. Avaliação do grau de influência de parâmetros de contorno no ensaio de reatividade potencial álcali-agregado pelo método acelerado. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

DIAMOND, S.. Alkali Silica Reactions: Some Paradoxes. Cement and Concrete Composites, Amsterdã, v.19, 1997.

DUCHESNE, J.; BÉRUBÉ, M. A.. The effectiveness of supplementary cementing materials in suppressing expansion due to ASR: another look at the reaction mechanism: pore solution chemistry. Cement and Concrete Research, West Conshohocken, v.24, n.2, 1994.

DUCHESNE, J.; BÉRUBÉ, M.A.. The effectiveness of supplementary cementing materials in suppressing expansion due to ASR: another look at the reaction mechanism: concrete expansion and portlandite depletion. Cement and Concrete Research, West Conshohocken v.24, n.1, 1994.

FUSCO, P.B.. Estruturas de Concreto. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, v.1, 1976.

GLASSER, L. S. D.; KATAOKA, N.. The chemistry of alkali-aggregate reaction. Cement and Concrete Research, West Conshohocken, v.11, 1981.

HASPARYK, N. P.. Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado. Tese (Doutorado em

FRAGA, Y. S. B.; SILVA, C. M. M. A.. Efeitos de adições minerais para mitigação de reações álcali-agregado no concreto: estado da arte. Engineering Sciences, v.5, n.1, p.1-13, 2017.

HELENE, P.. Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto. São Paulo: Editora Rehabilitar, 2005. HELENE, P.. Manutenção para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto. 2 ed. São Paulo: Pini, 1992.

HOBBS, D. W.. Alkali-silica reaction in concrete. London: 1988.

DOLAR-MANTUANI, L. M. M. Undulatory extinction in quartz used for identifying alkali aggregate reactivities rocks. In: OBERHOLSTER, R. E. (Ed.). **Proceedings of the 5. International Conference on Alkali Reaction in Concrete**. Cape Town: [s.n.], 1981. p. 252.

MIZUMOTO, Camilo. **Investigação da reação álcali-agregado (RAA) em testemunhos de concreto e agregados constituintes**. 2009. 162 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/91463>>.

MEHTA, P. K.. Concreto Sustentável. Revista Técnica. São Paulo: 2008.

PREZZI, M.. Analysis of the Mechanism of Concrete Deterioration. Berkeley: University of California, 1995.

POOLE, A.B. Introduction to alkali-aggregate reaction in concrete. In: SWAMY, R. M. (Ed.). **The Alkali-aggregate reaction in concrete**. New York: Taylor & Francis Elibrary, 2003. p. 1-29.

RAMACHANDRAN, V. S.. Alkali-aggregate expansion inhibiting admixtures. Cement and Concrete Composites, Amsterdã, v.20, n.3, 1998.

SANCHEZ, L., KUPERMAN, S., HELENE, P. Reação álcali-agregado – Método Acelerado Brasileiro de Prismas de Concreto (ABCPT). Anais de 50º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2008 – 50CBC0223, 2008.

SILVEIRA, A. A.. Contribuição ao estudo do efeito da incorporação de cinza de casca de arroz em concretos. Efeitos de adições minerais para mitigação de reação álcali-agregado. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

TIECHER, Francieli. Reação álcali-agregado: avaliação do comportamento de agregados do sul do Brasil quando se altera o cimento utilizado. UFRGS, Porto Alegre, 2006.

VIVIAN, H. E.. The process of alkali-aggregate reaction. Proceedings. Alkali in Cement and Concrete. London: 1983. WANG, H.; GILLOTT, J. E.. Mechanism of alkali-silica reaction and the significance of calcium hydroxide. Cement and Concrete Research, West Conshohocken, v.21, 1991.

SOBRE O ORGANIZADOR

CARLOS AUGUSTO ZILLI - Possui graduação em Engenharia Civil e Matemática pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2015 e 2005). É doutorando em Engenharia e Gestão do Conhecimento pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC (2021) e mestre em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC (2020). Possui especialização em Avaliação de Imóveis e Perícias de Engenharia pelo Instituto de Pós-Graduação - FAPAN (2018), em Gestão de Obras e Projetos pela Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL (2017), e em Engenharia de Segurança do Trabalho pelo Centro Universitário de Capivari - FUCAP (2016). É docente no Instituto Federal de Educação de Santa Catarina (IFSC) - Campus São Carlos. Possui experiência na área de Matemática, com ênfase em Educação Matemática e em Engenharia de Avaliações e Perícias, com ênfase em Inferência Estatística. Tem interesse em temas relacionados à Ciência de Dados, Engenharia de Avaliações e Planta de Valores Genéricos.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adições minerais 123, 124, 169, 171, 173, 174, 175, 184, 185, 187

Aditivo natural 189, 191

Agregado miúdo 109, 117, 118, 119, 137, 138, 142, 149, 170, 223, 224, 225, 226, 227, 233, 234, 235, 236, 237, 239, 240, 251

Agregado reativo 169, 173, 185

Algoritmo genético 1, 5

Análise estrutural avançada 43, 44, 45, 48, 49, 60

Argamassa ecológica 237

C

Cinzas de olaria 138

Cisalhamento 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 40, 41, 42, 92, 150, 201, 202, 203, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 221, 233

Concreto 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 41, 42, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 74, 75, 76, 77, 78, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 130, 131, 132, 133, 136, 138, 139, 140, 143, 146, 147, 148, 149, 153, 162, 163, 164, 167, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 180, 184, 185, 186, 187, 190, 194, 199, 200, 201, 202, 203, 206, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 217, 218, 220, 221, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 251, 253, 254, 255, 256, 257, 260, 262, 266, 267, 268, 269, 270, 271

Concreto armado 1, 3, 6, 7, 8, 14, 15, 16, 17, 18, 26, 27, 28, 29, 31, 34, 41, 42, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 74, 75, 77, 78, 88, 170, 201, 202, 203, 206, 209, 210, 212, 213, 216, 217, 218, 220, 221, 253, 254, 268, 270, 271

Concreto leve 162, 163

Concreto permeável 162

Confiabilidade estrutural 43, 44, 45, 51, 52, 53, 56, 57, 59, 61, 62, 63, 270

Construção civil 1, 3, 67, 107, 109, 125, 126, 127, 136, 137, 138, 139, 140, 149, 151, 152, 153, 155, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 167, 170, 189, 191, 202, 205, 223, 224, 225, 226, 234, 235, 237, 239, 244, 251, 252, 254

D

Dimensionamento 1, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 33, 34, 36, 41, 64, 65, 69, 74, 77, 78, 210, 211

E

Edificações sustentáveis 152

Engenharia de materiais 137, 152, 189, 235

Engenharia estrutural 2, 79, 80, 82, 83, 91, 92

F

Filler 138, 139, 142

I

Incêndio 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 26, 27, 130, 133, 136

Inteligência artificial 253, 268

L

Lajes 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 18, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 39, 40, 41, 42, 65, 67, 84, 87, 93, 206, 244, 245

Lajes lisas 28, 29, 30, 31, 40, 41, 42

Lajes nervuradas 1, 3, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 65

Ligações semirrígidas 43, 48, 49, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 60, 61, 62

M

Materiais de construção civil 137, 237

Material compósito 201, 203, 204, 215

Matéria-prima 152, 153, 154, 155, 162, 190, 224, 225, 238, 239

Método de Hertz 16, 18, 19

O

Opuntia ficus-indica 189, 190, 191

Otimização 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 46, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 75, 76, 77, 189

Otimização estrutural 1, 5

Otimização por enxame de partículas 64, 65, 66, 70, 77

P

Patologia 93, 109, 169, 170, 268

Piso misto de pequena altura 79, 80, 83, 89, 90, 92

Pó de balão 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252

Polímero 125, 126, 127, 129, 130, 131, 132, 136, 194, 195, 209, 217, 221

Polistireno expansível 162

Pórticos planos 43, 48, 49, 61

Pós-tensionado 93

Propriedades mecânicas e físicas 125, 127, 136

Punção 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 39, 40, 41, 42

R

RAA 108, 109, 110, 119, 123, 169, 171, 172, 173, 175, 176, 184, 185, 187

Reciclagem 137, 155, 159, 160, 163, 223, 224, 225, 234, 235, 236, 251

Reforço 86, 93, 123, 131, 167, 187, 201, 202, 203, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 220, 221

Resíduos da siderurgia 237

Resíduos sólidos 126, 137, 162, 163, 224, 238

Resina poliuretana vegetal 125, 127, 135

S

Simulação numérica 79, 80, 81, 83, 85, 87, 91, 92

Spray drying 189, 190, 191

Sustentabilidade 125, 126, 127, 137, 139, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 162, 224, 235, 252

V

Vidro 161, 201, 209, 213, 223, 224, 225, 226, 227, 229, 231, 232, 233, 234, 235, 236

Vigas de concreto armado 15, 16, 26, 64, 65, 66, 74, 78, 201, 206, 216, 218, 221

Vigas T 64, 210

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL



 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 @atenaeditora

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

 **Atena**
Editora

Ano 2021

COLEÇÃO DESAFIOS DAS ENGENHARIAS:

ENGENHARIA CIVIL



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